

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

01.12 – КМР. 1856 “С” 2020.11.25.007 ПЗ

**САКАЛО ОЛЕГА МИКОЛАЙОВИЧА**

**2021 р.**

НУБІП України

НУБІП України

# НУБІП України<sup>2</sup>

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) конструювання та дизайну

# НУБІП України

УДК 621.793.09

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Декан факультету

конструювання та дизайну  
(назва факультету (ННІ))

Завідувач кафедри

надійності техніки  
(назва кафедри)

# НУБІП України

“ ” Ружилю З.В.  
(підпис) (ПІБ)

2021 р.

“ ” Новицький А.В.  
(підпис) (ПІБ)

2021 р.

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

# НУБІП України

на тему “Дослідження технічного стану та розробка технології відновлення посадок корпусних деталей сільськогосподарської техніки полімерними покриттями”

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)

# НУБІП України

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)

# НУБІП України

Виконав

(підпис)

Сакало О.М.

(ПІБ студента)

# НУБІП України

КИЇВ – 2021

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  
надійності техніки

К.Т.Н., доц.

Новицький А.В.

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

20 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Сакало Олег Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(код/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 полімерними покриттями”

затверджена наказом ректора НУБіП України від 25 листопада 2020 р. № 1856 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2021.11.15

(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. 5. Конструктивні параметри установок для нанесення полімерних покриттів на деталі типу «вал» 6. Нормативні 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 із розчинів полімерів.

Дата видачі завдання 08 вересня 2020 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Попик П.С.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Сакало О.М.

(прізвище та ініціали студента)

# НУБІП України

ЗМІСТ

ВСТУП

10

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ВІДНОВЛЕННЯ ПОСАДОК В КОРПУСНИХ ДЕТАЛЯХ..... 12

1.1 Технології відновлення посадок підшипників кочення в корпусних деталях полімерними матеріалами..... 12

1.2 Способи механізованого нанесення полімерних покриттів при відновленні посадкових місць підшипників кочення..... 15

1.3 Класифікація полімерних матеріалів з оброблюваності різанням та способи їх механічної обробки..... 37

1.4 Висновки. Мета та завдання досліджень..... 41

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ФОРМУВАННЯ

### ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ НА ЗОВНІШНІХ КІЛЬЦЯХ

ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ..... 43

2.1 Модель формування покриття зануренням із розчину еластомеру на зовнішньому кільці підшипника..... 43

2.1.1 Втрати напору потоку рідини при протіканні по зовнішній поверхні підшипника..... 48

2.2 Параметри механічної обробки різанням полімерних покриттів еластомерів..... 50

2.2.1 Обґрунтування геометричних параметрів різучого інструменту для обробки покриттів з еластомеру Ф-40С..... 52

2.2.2 Вплив параметрів режиму механічної обробки на якість полімерного покриття..... 55

## РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... 66

3.1 Загальна методика досліджень..... 66

3.2 Методика дослідження усадки еластомеру Ф-40С..... 67

3.3 Методика дослідження параметрів режиму занурення деталей у розчин еластомеру Ф-40С..... 67

3.4 Методика дослідження та визначення оптимального кута різання еластомеру Ф-40С..... 69

3.5 Методика дослідження впливу режимів різання на шорсткість полімерного покриття.....

5  
70

3.6 Методика дослідження довговічності посадок підшипників у корпусних деталях, відновлених еластомером Ф-40С.....

73

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....

89

4.1 Дослідження усадки еластомеру Ф-40С.....

89

4.2 Дослідження параметрів режиму занурення деталей в розчин еластомеру Ф-40С.....

95

4.3 Дослідження процесу механічної обробки полімерних покриттів.....

97

4.3.1 Дослідження та визначення оптимального кута різання еластомеру Ф-40С.....

97

4.3.2 Дослідження впливу режимів різання на шорсткість полімерного покриття.....

4.4 Дослідження довговічності посадок підшипників у корпусних деталях, відновлених еластомером Ф-40С.....

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ.....

106

5.1 Технологічні рекомендації.....

106

5.2 Розрахунок економічної ефективності відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення еластомером Ф-40С.....

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....

112

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....

115

ДОДАТКИ.....

126

# НУБІП України

ВСТУП

Конкуреноспроможність вітчизняної продукції на світовому ринку значною мірою визначається її ціною. Значну частку в формуванні ціни продукції становлять витрати на підтримку сільськогосподарської техніки в працездатному стані.

Надходить на ринок вітчизняна сільськогосподарська техніка, за винятком тракторів Харківського тракторного заводу і зернозбиральних комбайнів «Ростсельмаш», що мають низькі техніко-експлуатаційні показники і недостатню надійність. Заводи випускають в основному морально застарілу техніку, розроблену ще 30..40 років тому, з цієї причини сільгосптоваровиробники змушені застосовувати спрощені технології, які за продуктивністю в 10..15 раз нижче, ніж в передових країнах світу. В кінцевому результаті мають місце неприпустимо великі втрати продукції, які є серйозним негативним фактором низьких економічних показників галузі. Наприклад, щорічні втрати зерна досягають 5 млн. т, м'яса - понад 0,1 млн. т, молока - близько 0,7 млн. т і т.д.

Відсутність по ряду позицій техніки конкуреноспроможної вітчизняної пропозиції змушує сільгосптоваровиробників купувати імпорту. Попит на неї зростає: в 2007 р. імпорт тракторів зріс до 2006 р. на 182%, зернозбиральних комбайнів - 160, запчастин - 173% [1].

Ринок сільгосптехніки в Україні в 2007 році склав, тис. шт. по тракторах сільгосппризначення - 35,9 (імпорт - 28,5), в тому числі з Білорусії (Мінський тракторний завод) - 20,4, вітчизняних лише - 7, 5; по зернозбиральних комбайнів - 71,6, в тому числі вітчизняних - 4,5 (імпортих - 2,6).

Подібна ситуація складається і з великовантажним автомобільним транспортом.

Імпортна автотракторна техніка відрізняється високою продуктивністю, функціональністю і надійністю, підвищеним рівнем комфорту, проте після закінчення певного терміну експлуатації закономірно виникають відмови і в цьому випадку власник техніки стикається з фактом, що вартість запасних частин і ремонту значно перевищує вітчизняні аналоги. З огляду на те, що дорога імпортна техніка купується в основному в лізинг, витрати на її підтримку в працездатному стані серйозно погіршують фінансове становище власників.

Серйозні негативні наслідки може викликати велика різномарочність закупуваної техніки, наприклад трактори 150 моделей купуються у 12 фірм-виробників. Це створює труднощі в забезпеченні запчастинами та технічному сервісі [1].

Відновлення зношених деталей дозволяє значно знизити витрати на ремонт машин і устаткування, підвищити його надійність. Досвід передових підприємств показує, що відновлення зношених деталей сучасними прогресивними технологіями дозволяє значно скоротити простої машин і устаткування, збільшити міжремонтний термін служби, зменшити витрату запасних частин. Накопичений значний позитивний світовий і вітчизняний досвід відновлення зношених деталей, відновлювального ремонту і модернізації старої автотракторної та іншої техніки. Бізнес в цій області постійно розвивається і має велику перспективу в Україні.

Підпрограма «Технічна і технологічна модернізація, інноваційний розвиток» в 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 технічної і технологічної модернізації виробництва [3].

Розробка нових методів ремонту, перспективних технологій відновлення з використанням сучасних конструкційних і функціональних матеріалів є важливою складовою модернізації ремонтного виробництва підприємств АПК. Створюються умови для підвищення надійності сільськогосподарської техніки, скорочення матеріальних витрат на технічний сервіс, підвищення конкурентоспроможності сільськогосподарської продукції на зовнішньому і внутрішньому ринках збуту.

Вартість корпусних деталей істотно впливає на розмір коштів, витрачених при ремонті автотракторної техніки. Основною причиною є їх висока ціна, в порівнянні з іншими типовими деталями. Ці деталі є базисними, ресурсними деталями, що визначають в основному термін служби всього агрегату.

Знос посадочних отворів під підшипники є найбільш поширеним дефектом корпусних деталей. При цьому порушується співвісність і паралельність валів, виникає перекіс зубчастих коліс, кілець підшипників. У зубчастих колесах, навантажених крутним моментом 100 Нм, при збільшенні перекосу від 0,05 до 0,2 мм тиск в зоні контакту зубів підвищується в 1,35 рази (від 23 до 31 Н/мм<sup>2</sup>), що значно скорочує залишковий ресурс коліс [4, 5]. Зазор посадки підшипника в 0,02

# НУБІП України

мм, в порівнянні з посадкою з натягом, скорочує ресурс підшипника від 40 до 50% [6].

Зношування посадочних отворів під підшипники в корпусних деталях відбувається через фреттинг-корозії [7, 11]. Посадкові отвори під підшипники в корпусних деталях відновлюють встановленням додаткової деталі, електродуговим наплавленням, електроконтактним приварюванням сталеві стрічки, залізненням, електромеханічним осаджуванням, електроіскровий обробкою [13..36]. Однак перераховані вище способи не забезпечують фреттингостійкість відновлених посадочних отворів.

Способи відновлення полімерними матеріалами запобігають фреттинг-корозії посадочних місць підшипників і багаторазово підвищують ресурс підшипникових вузлів [38...57]. Собівартість відновлення посадочних отворів в корпусних деталях герметиком 6Ф нижче в порівнянні з наплавленням в 11,4 рази, з залізненням - в 9,4 рази [38].

Завдяки наявності полімерного покриття, зростає деформація бігової доріжки кочення підшипника в зоні її контакту з навантаженими тілами кочення. Це призводить до збільшення площі плями контакту і зниження контактних напружень. У підсумку довговічність підшипника 205 з покриттям ВК-50 в 4,1, герметика 6Ф в 5,43 рази перевищує розрахункову [41].

Розвиток вітчизняної хімічної промисловості супроводжується постійним випуском нових перспективні полімерних матеріалів різного призначення. Формується сприятливе середовище для розробки високоефективних технологій відновлення, які забезпечують підвищення ресурсу корпусних деталей, надійності сільськогосподарської техніки, скорочення витрат на технічний сервіс.

**Мета роботи:** є розробка технології механізованого нанесення полімерних покриттів з розчину еластомеру Ф-40С на підшипники кочення, що забезпечує підвищення точності і довговічності посадок підшипників при відновленні корпусних деталей сільськогосподарської техніки методом ремонтних розмірів.

**Об'єкт дослідження:** полімерні покриття, посадки підшипників в корпусній деталі, відновлені еластомером Ф-40С.

**Предмет дослідження:** Усадка полімерного покриття з розчинів еластомеру Ф-40С різної в'язкості, залежно розмірів полімерних покриттів з розчинів еластомеру Ф-40С від параметрів режиму занурення і нанесення, зусилля різання і шореткості від геометричних параметрів різця, точності полімерних покриттів від



режиму різання, довговічність посадок підшипників в корпусних деталях, відновлених еластомером Ф-40С.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблені нова технологія і технологічне оснащення для механізованого нанесення полімерних покриттів з розчину еластомеру Ф-40С на підшипники кочення та подальшої механічної обробки, яка впроваджена в ТОВ «Перемога» Вишгородського району Київської області.

**Публікації.** За темою магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 2 тези доповідей, які доповідались на 75-й Всеукраїнській науково-практичній студентській конференції «Наукові здобутки студентів у дослідженнях технічних та біоенергетичних систем природокористування: Конструювання та дизайн» (26-27 березня 2021 року) м. Київ, на VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Крамаровські читання» з нагоди 114-ї річниці від дня народження д.т.н., професора Крамарова Володимира Савовича (25-26 лютого 2021 р.), м. Київ.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЕННЯ ПОСАДОК В КОРПУСНИХ ДЕТАЛЯХ

## 1.1 Технології відновлення посадок підшипників кочення в корпусних деталях полімерними матеріалами

Вирішення наукових завдань і проблем технології ремонту та відновлення зношених деталей присвячені праці Ачкасова К.А., Астаїна В.К., Батищєва 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. та багатьох інших вітчизняних вчених.

Вартість корпусних деталей істотно впливає на розмір коштів, витрачених при ремонті автотракторної техніки. Основною причиною є їх висока ціна, в порівнянні з іншими типовими деталями. У таблиці 1.1 показані ціни на корпусні деталі та агрегати автомобіля КАМАЗ.

Таблиця 1.1.

Ціна на корпусні деталі та агрегати автомобіля КАМАЗ

№ п/п	Найменування корпусної деталі (агрегату)	Умовне позначення	Ціна, грн.*	Ціна корпусної деталі в % від ціни агрегату
1	Картер коробки передач Коробка передач в зборі	1701010-154 1700025-152	21337 101000	22
2	Картер 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 ООО «АвтоСнабЦентр».

При ціні коробки передач в зборі в 101000 грн. ціна картера коробки передач становить 22% від її вартості (21337 грн). Частка картера роздавальної коробки в формуванні ціни роздавальної коробки в зборі ще вище - 36,2%. Блок циліндрів коштує 95398 грн., що становить 29,5% від ціни двигуна (323167 грн.).

# НУБІП України

Корпусні деталі є базисними деталями і тому визначають в основному ресурс всього агрегату.

Від 60 до 90% корпусних деталей вибраковується і направляється на відновлення через знос посадочних отворів під підшипники. Основною причиною зношування посадочних отворів є фреттинг-корозія [7, 11, 15].

Проф. Котиним А. В. та його співробітниками досліджено технічний стан деталей коробки передач автомобіля ГАЗ-53 [40]. Мікрометражем встановлено, що з досліджених картерів коробок передач перекіс осей отворів вище допустимих значень має місце в 83%, непаралельність в 79% від усієї вибірки (рис. 1.1).

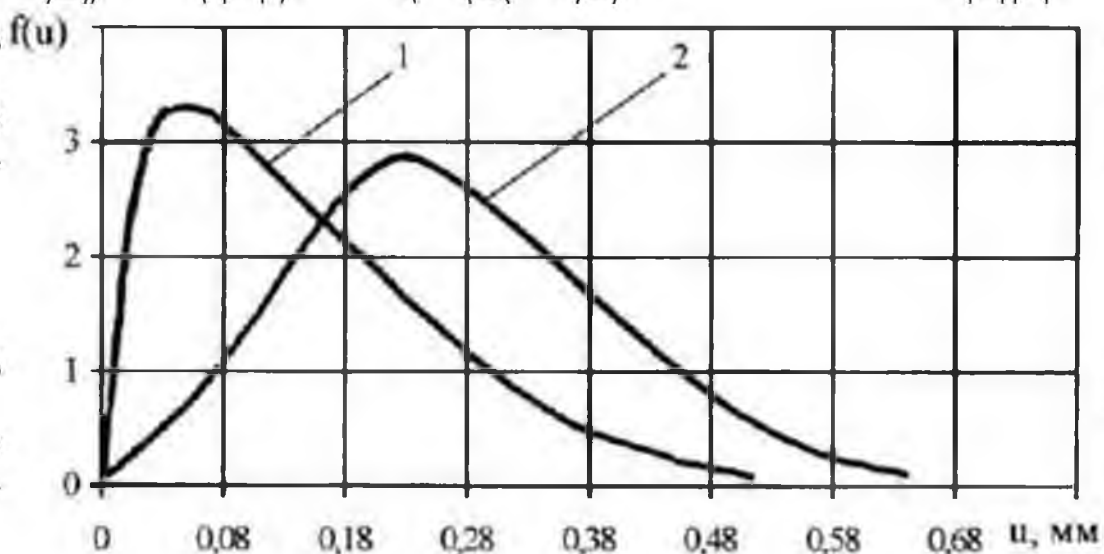


Рис. 1.1. Розподіл відхилень осей посадочних отворів картера під підшипники первинного і вторинного валів блоку шестерень проміжного валу: 1 - не паралельність осей посадочних отворів картера; 2 - перекіс цих осей.

Дослідженнями встановлено, що має місце знос посадочних отворів коробки передач не більше 0,2 мм і до 40% досліджених отворів необхідне відновлення (рис. 1.2).

# НУБІП України

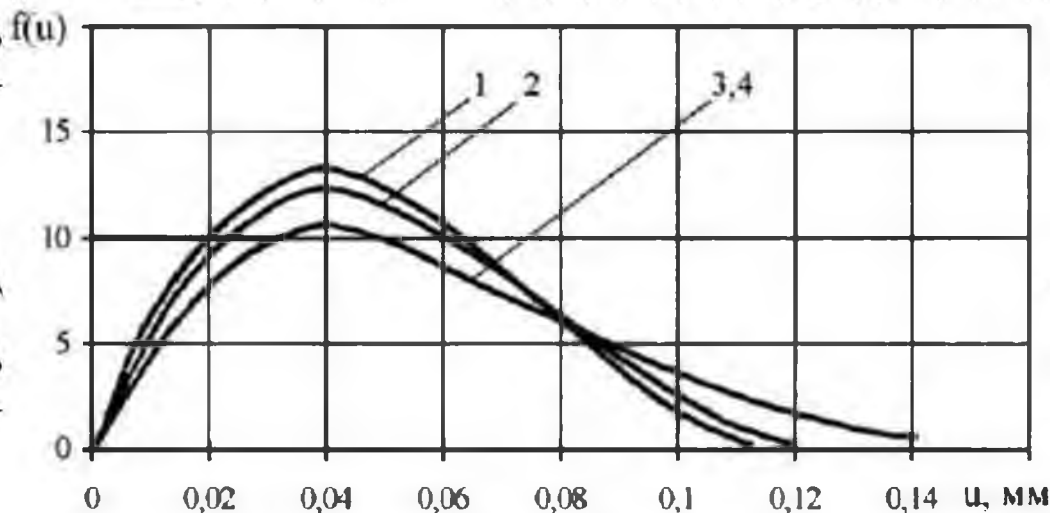


Рис. 1.2 - Розподіл зносів посадочних отворів картера під підшипники валів:  
 1 - задній первинного вала; 2 - передній вторинного вала; 3 - передній блоку шестерень проміжного валу; 4 - задній блоку шестерень проміжного валу.

Дунаєвим А.В. досліджена залежність швидкості зношування підшипників від зазору посадки і перекосу підшипників в корпусі коробки передач трактора класу 3 т.с. [60]. Автор встановив, що зазор посадки підшипника в 0,3 мм збільшує швидкість зношування підшипників від 1,25 до 1,35 рази. Із зростанням зазору посадки підшипника від 0,4 до 0,8 мм швидкість зношування збільшується від 1,67 до 1,75 рази.

Шубінін А.Г. встановлено, що зазор посадки підшипника в 0,02 мм, в порівнянні з посадкою з натягом, скорочує ресурс підшипника від 40 до 50% [6].

Посадкові отвори під підшипники в корпусних деталях відновлюють встановленням додаткової деталі, електродуговим наплавленням, електроконтактним приварюванням сталеві стрічки, залізненням, електромеханічним осаджуванням, електроіскровою обробкою [1, 12, 37]. Однак перераховані вище способи не забезпечують фреттингостійкість відновлених посадочних отворів.

Способи відновлення полімерними матеріалами запобігають фреттинг-корозію посадочних місць підшипників і багаторазово підвищують ресурс підшипникових вузлів [48, 59].

# НУВБІП України<sup>3</sup>

Для відновлення посадок підшипників в корпусних деталях полімерними матеріалами використовують три способи [38, 41, 58]:

1 - нанесення полімерного композиційного матеріалу на зношену поверхню отвори і формування отвору під номінальний розмір;

2 - фіксація зовнішнього кільця підшипника в зношеному отворі за допомогою адгезивів;

3 - нанесення покриття з розчинів еластомерів на зношену поверхню отвору без формування і запресовування в неї підшипника.

У ГОСНИТИ розроблена технологія відновлення посадочних отворів в корпусних деталях епоксидними композиціями в якій реалізується перший спосіб [66]. Технологія включає наступні операції: очищення поверхні посадкового отвору, її знежирення, приготування епоксидної композиції, нанесення шару композиції 1...1,5 мм на підготовлену поверхню отвори, часткове затвердіння (до пластичного стану), калібрування під заданий розмір і форму, остаточне затвердіння композиції, зняття напливів, візуальний контроль якості покриття (рисунок 1.3).

Для відновлення посадочних отворів корпусних деталей епоксидні композиції повинні мати не тільки високу адгезію до підкладки і достатню міцність, але і високі тиксотропні властивості, що перешкоджають стіканню матеріалу з вертикальних стінок отвору. З цією метою в композиції вводять різні наповнювачі. Рекомендований склад композицій (в мас. ч.)

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

- епоксидна смола ЕД-16 - 100, дибутилфталат - 15, залізний порошок - 160, поліетиленполіамін - 11.

Вищепереліченими складами відновлюють зношені посадкові отвори підшипників в корпусах водяного насоса, коробок передач, роздавальних коробок, в кришках розподільних шестерень двигунів і т.д.

Для калібрування отворів з полімерним покриттям використовують механічні або гідравлічні преси, вертикально-розточувальні і свердлильні верстати, а також калібри заданих розмірів.

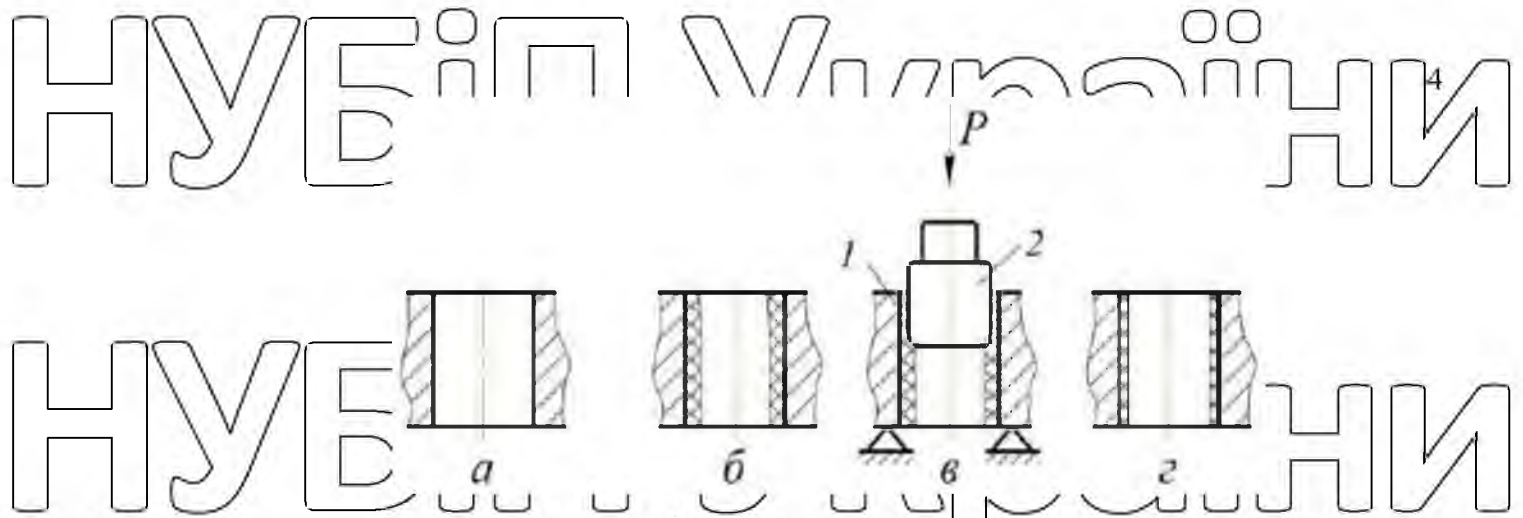


Рис. 1.3. Послідовність етапів відновлення калібруванням корпусної деталі:

а - підготовлений зношений отвір; б - отвір з частково затверділим покриттям з епоксидної композиції; в - калібрування отвору з покриттям; 1 - епоксидна композиція; 2 - калібр; г - покриття епоксидної композиції після повного затвердіння.

Будову калібру показано на рисунку 1.3, в. Калібр має закруглену західну частина. Калібр виготовляють з урахуванням припуску на калібрування (припуск враховує усушку полімерного матеріалу), який для конкретних складів епоксидних композицій, розміру відновлювану отворів, умов калібрування необхідно визначати дослідним шляхом.

Робочі поверхні калібрів хромують, шліфують і полірують. На їх поверхні проточують одну - дві маслорійні канавки (при малій висоті калібру цих канавок не роблять). Щоб уникнути прилипання епоксидної композиції робочу поверхню калібру перед калібруванням змащують тонким шаром оливи АКЗп-6.

При переміщенні калібру уздовж осі отвору усуваються відхилення від правильної геометричної форми, отвору надається остаточний розмір, шар полімерного матеріалу ущільнюється.

Після калібрування відновлювану деталь витримують при кімнатній температурі протягом 10 год або при  $60^{\circ}\text{C}$  - 2 год, якщо для затвердіння використовували поліетиленполіамін.

У разі використання затверджувача гарячого затвердіння олігоамід Л-19 деталь після калібрування витримують при температурі  $50^{\circ}\text{C}$  - 2 год, потім при  $100^{\circ}\text{C}$  - 1 год і  $150^{\circ}\text{C}$  - 1 год.

Деталь охолоджують разом з термошафою зі швидкістю 1 град/хв.

Діаметр відновленого отвори вимірюють після повного охолодження деталі.  
До недоліків способу відносяться.

1. Вплив усадки на остаточний розмір отвору з полімерним покриттям, тому що повне (остаточне) затвердіння полімерного покриття проводять після його калібрування. Залежно від точності відбору наповнювачів при приготуванні полімерної композиції, вязкості полімерного покриття в момент її калібрування усадка може набувати різних значень, вносячи тим самим похибку в остаточний розмір отвору з полімерним покриттям.

2. Необхідність використання наповнювачів, які формують необхідні тиксотропні властивості.

В роботі Котина А. В. [40] запропонований спосіб відновлення посадочних отворів корпусних деталей розмірним калібруванням. Для реалізації способу розроблений полімерний композиційний матеріал на основі анаеробного герметика АН-6В: герметик Анатерм-6В - 100 м.ч., тальк - 20 м.ч., бронзова пудра - 2 м.ч.

Зношений отвір шліфують до металевого блиску і знежирюють. Далі наносять полімерний композиційний матеріал (ПКМ) на поверхню отвору, після чого вводять оправку 3 з розсувними кільцями 4, які знаходяться в стиснутому стані (рис. 1.4).

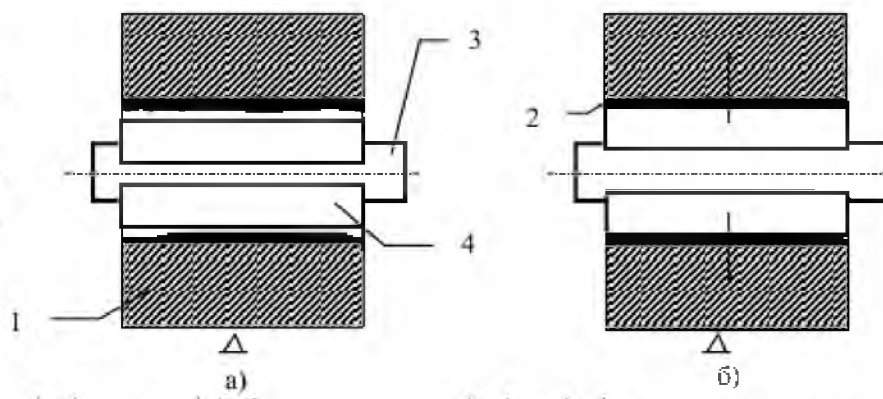


Рис. 1.4. Схема формування полімерної композиції на поверхні зношеного отвору корпусної деталі: а) оправка з кільцями у стиснутому стані; б) калібрування полімерної композиції кільцями, що розтискаються; 1 - корпусна деталь; 2 - шар полімерної композиції; 3 - оправка; 4 - розсувні півкільця.

Щоб уникнути прилипання ПКМ до розсувних кілець, на останні до формування наносять оливу А.КЗп-6. Введені в отвір кільця розтискають на певний

розмір, що забезпечує калібрування полімерного покриття. Після завершення процесу затвердіння НКМ кільця переводять у стиснутий стан та оправку виводять з отвору.

Спосіб не усуває вплив усадки на остаточний розмір отвору з полімерним покриттям. У процесі експлуатації підшипникового вузла клейовий шов нагрівається до температури 70...90° С, тому полімерна матриця дополімеризується, тобто, відбувається полімеризація на більшу глибину. Тому розмір відновленого отвору змінюється.

При відновленні посадок підшипників у корпусних деталях адгезивами в якості останніх використовують анаеробні герметики, акрилові клеї і композиційні матеріали на їх основі [67...73].

Основою анаеробних герметиків є полімеризаційні з'єднання акрилового ряду, як правило диметилакрилові ефіри поліалкіленгліколей, що мають високу швидкість перетворення в просторово зшиті полімери. Анаеробні герметики мають гарну адгезію до чорних та кольорових металів. Матеріали є реактопластами і з цієї причини відрізняються високою стійкістю до дії води, олив, палива, органічних розчинників, кислот, лугів та інших хімічних речовин. Після завершення полімеризації анаеробні герметики зберігають експлуатаційні властивості в діапазоні від - 60 до + 150° С [74].

В Україні споживачам пропонується великий асортимент герметиків марок "Анагерм" та "Унігерм". Зарубіжними постачальниками анаеробних герметиків до України є фірми "LOCTITE" (Англія), "THREE BOND" (Японія).

З вітчизняних анаеробних герметиків, для відновлення нерухомих з'єднань підшипників, найбільш широко відомі такі герметики як АН-6, АН-6В, АН-6К, АН-103, УГ-7, УГ-8, УГ-11 [38, 41, 52, 53, 55, 68, 75].

Щетиніним М. В. досліджено акриловий клей АН-105 (ТУ 2257-445-00208947-2005), що випускається ФГУП «НДІ полімерів» (м. Держинськ, Нижегородської області). Клей відноситься до категорії високоміцних адгезивів. Матеріал розлитий у поліетиленові повітропроникні флакони, масою 50; 100 чи 200 г. Життєздатність клею до 1 року. Клей двокomпонентний компонент А – червоного кольору, компонент Б – зеленого кольору. В'язкість матеріалу становить 2000...2500 МПа\*с, а межа міцності при відриві - 30...35 МПа. Акриловий клей АН-



105 є універсальним і призначений для склеювання металу, скла, сагагошарового скла, кераміки та пластмас [76]. За результатами досліджень розроблено технологію відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення [56].

Дослідженнями встановлено високу адгезію матеріалу та ударну міцність клейових сполук. При склеюванні компонент А наносять на одну деталь, а компонент В на спряжену, після чого здійснюють складання нерухомих з'єднань.

Для відновлення посадок підшипників у корпусних деталях адгезивами необхідні центруючі пристрої. На рис. 1.5 показано центрувальний пристрій для склеювання корпусу водяного насоса та підшипників 304, 305 [55, 77].

Однак при відновленні посадок підшипників в агрегатах трансмісії автотракторної виникає проблема із забезпеченням співвісності деталей, що склеюються. Досить складно зафіксувати у вертикальному положенні вал із підшипниками та шестернями, виникають питання при виборі технологічних баз та ін. З цієї причини забезпечення співвісності осей посадкових отворів з осями підшипників в агрегатах трансмісії – це суттєва технологічна проблема, яка стримує розвиток відновлення посадок корпусних деталей адгезивами.

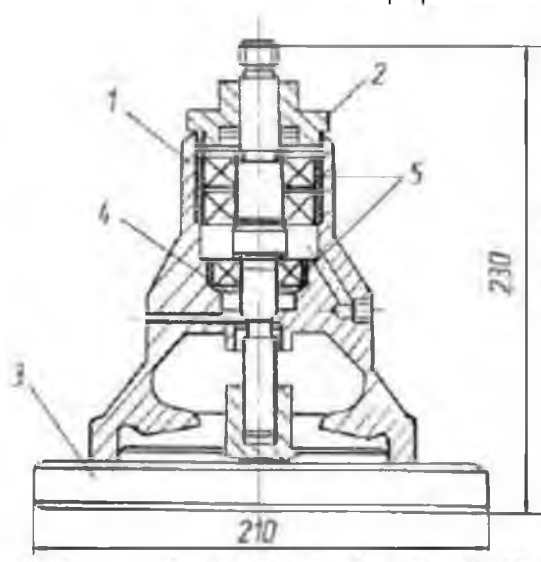


Рис. 1.5 Центрувальний пристрій для склеювання корпусу водяного насоса двигуна ЗМЗ-53 з підшипниками на валу: 1 - корпус водяного насоса; 2 - кришка пристрою; 3 - корпус пристосування; 4, 5 - адгезив.

Третій спосіб відновлення посадок підшипників реалізований в технології відновлення посадкових отворів корпусних деталей герметиком 6Ф. Ровний

еластомеру пошарово наносять пензлем у вигляді покриття на зношену поверхню посадкового отвору корпусної деталі. Після нанесення покриття, його отверджують при підвищеній температурі 150° С і часу витримки 3 год [38].

Багаторічний досвід практичного застосування під час ремонту техніки показав високу ефективність технології відновлення та герметика 6Ф.

Відновлення отворів під підшипники герметиком 6Ф забезпечує багаторазове збільшення ресурсу корпусних деталей. До недоліків технології можна віднести відносно не високу точність розмірів відновлених отворів через усадку полімерного матеріалу при термічній обробці, ручний спосіб нанесення, що зумовлює не високу продуктивність процесу.

Розробником герметика 6Ф є ВАТ "ІДП пластичних мас ім. Г. С. Петрова" (м. Москва). Герметик 6Ф є продуктом послання каучуку марки СКН-40 і смоли ФКУ на основі заміщеного фенолу вінілацетиленової структури. Еластомер надходив у реалізацію у вигляді рулонів. До використання герметик нарізують шматочками та розчиняють в ацетоні із співвідношення 20 мас.ч. ацетону на 1 мас.ч. протягом доби, періодично збовгуючи ємність із розчином. Покриття відрізняються високою адгезією до чорних і кольорових металів, а також мають хімічну стійкість [48, 50, 51]. Випуск герметика 6Ф припинено і розробник випустив його аналог - лак Ф-40.

Відмінність у агрегатному 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) є розчином композиції каучуку і модифікованої фенольної смоли в органічному розчиннику [78]. Еластомер для реалізації розливають у вигляді розчину пластиківі ємності різного об'єму. Нині випуск еластомеру Ф-40 припинено і випускається дослідними партіями його модифікація Ф-40С.

Найбільш технологічним є спосіб відновлення посадкових отворів у корпусних деталях, заснований на нанесенні полімерного покриття на зношену поверхню отворів. Однак існуючі технології передбачають ручне нанесення матеріалу та не виключають усадку полімерного матеріалу при затвердінні, що обумовлює не високу точність розмірів відновлених отворів.

Пропонується відновлювати посадки підшипників у корпусних деталях методом ремонтних розмірів [58]. Посадочні отвори в залежності від зносу розточують під 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 комплектують новим підшипником, на зовнішнє кільце якого нанесено полімерне покриття з розчину еластомеру Ф-40С відповідної товщини, що забезпечує нерухомість з'єднання. Так як при експлуатації відновленої корпусної деталі зношуватиметься тільки полімерне покриття, отвір, оброблений під ремонтний розмір, зношуватися більше не буде. Завдяки цьому ресурс посадкових отворів, отже, і корпусних деталей значно зросте.

Для виключення впливу усадки полімерного матеріалу при затвердінні та забезпечення заданих розмірів полімерного покриття пропонується покриття після нанесення на підшипник термічно обробляти, а потім піддавати механічній обробці різанням. Необхідно провести аналіз існуючих способів механізованого нанесення полімерних покриттів та обґрунтувати вибір способу нанесення покриття на підшипник.

## 1.2 Способи механізованого нанесення полімерних покриттів при відновленні посадкових місць підшипників кочення

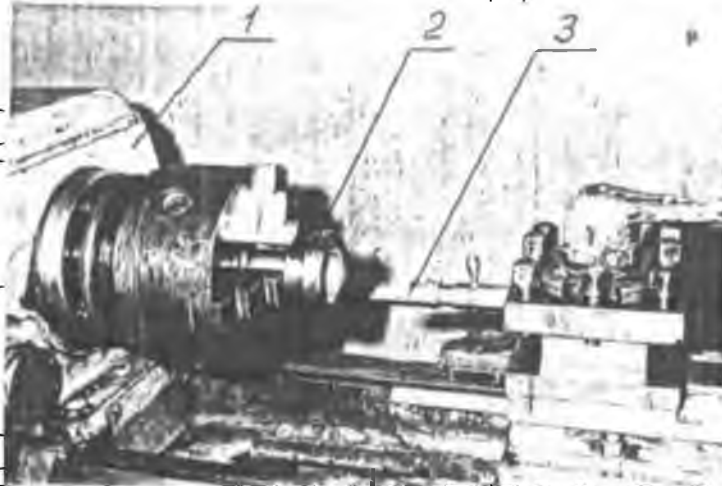
Полімерні покриття наносять на посадкові місця підшипників вручну пензлем, відцентровим способом (корпусні деталі), обливанням та зануренням та формуванням покриття за допомогою ракелю (вали).

Сидниною Т.І. розроблено технологію відновлення підшипникових щитів електродвигунів герметиком 6Ф. Підшипникові щити відновлюють методом відцентрової заливки. Розроблено установку для нанесення покриттів відцентровою заливкою, що представлена на рис. 1.6.

Нанесення покриттів відцентровою заливкою з розчинів еластомерів проводять на установці, що складається з токарно-гвинторізного верстата 1К62 1.

# НУБІП України

планшайби 2 і заливального пристрою 3. Планшайба кріпиться оправкою 1 в патроні верстата (рис. 1.7).



# НУБІП України

Рис. 1.6. Лабораторна установка для нанесення покриттів відцентровою заливкою: 1 - токарно-гвинторізний верстат, 2 - планшайба, 3 - заливальний пристрій.

Підшипниковий щит 6 встановлюють на один із центруючих поясів щоки 5 і підтискають гвинтом 2. Притискна кришка 4 запобігає від розбризкування розчину під час заливання.

Розчин заливають за допомогою пристрою для заливки, який кріпиться оправкою 1 в різцетримачі токарного верстата (рис. 1.8). На валик 2 встановлений жолоб 3. Робочий об'єм жолоба можна змінювати, пересуваючи його щодо валика 2 на ширину від  $b_{\min}$  до  $b_{\max}$ . Ширину жолобу встановлюють рівною ширині посадкового місця підшипника в щиті. Заливальний пристрій з необхідною кількістю розчину полімеру в жолобі вводять підшипниковий щит за допомогою супорта. При встановленій частоті обертання деталі  $1400 \text{ хв}^{-1}$  валик 2 повертають на кут  $180^\circ$ . Після цього деталь обертають  $5 \dots 10 \text{ хв}$  для запобігання стіканню розчину.

# НУБІП України

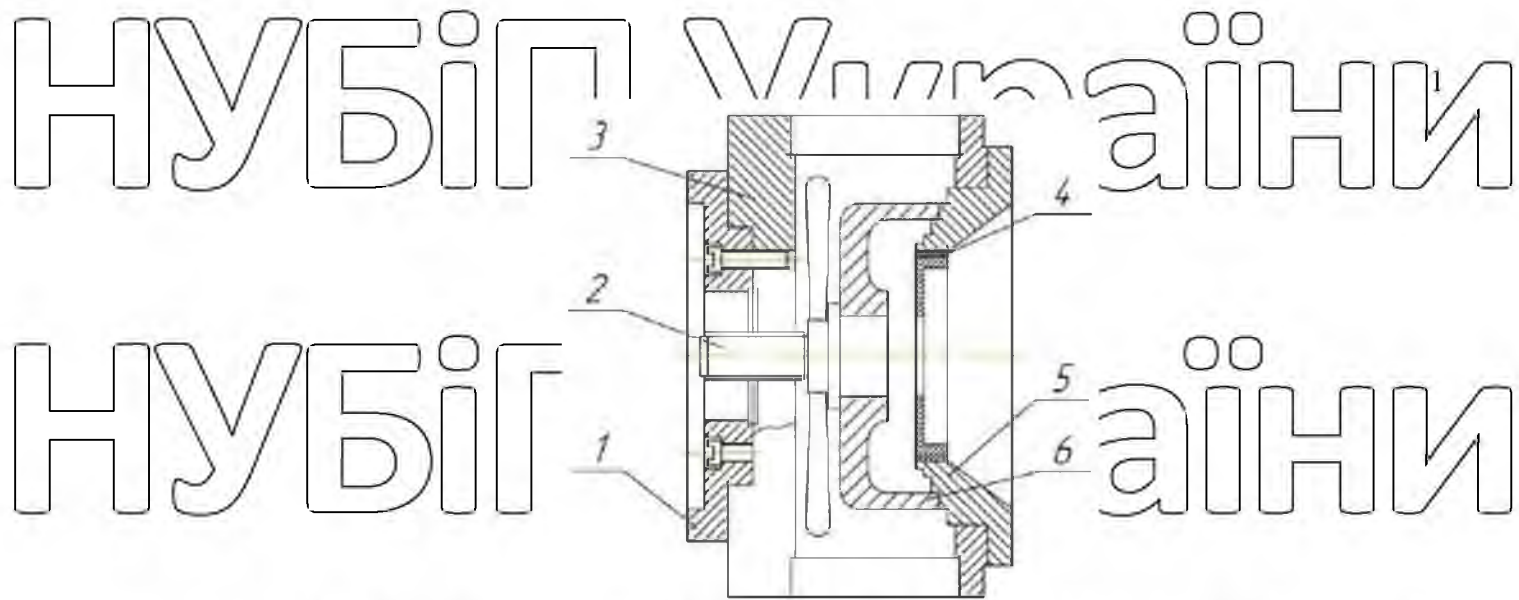


Рис. 1.7. Схема планшайби: 1 - оправка; 2 - гвинт; 3 - корпус; 4 - кришка; 5 - ролик; 6 - підшипниковий щит електродвигуна серії 4А.

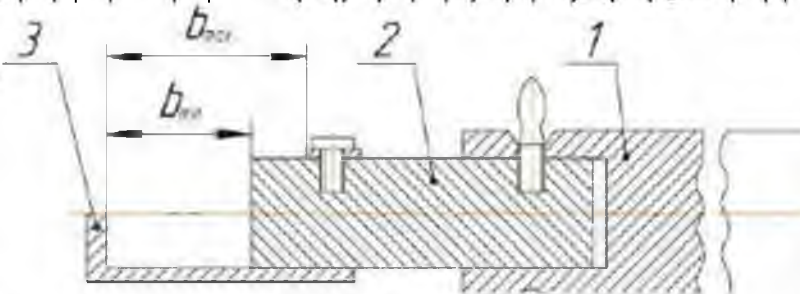


Рис. 1.8. Залівальний пристрій: 1 - оправка; 2 - валик; 3 - жолоб.

За рахунок впливу відцентрової сили, що виникла, формується гладке, рівномірне по товщині полімерне покриття. Після демонтажу підшипниковий щит отверджують в сушильній шафі за температури 150°С протягом 3 год.

Спосіб відцентрової заливки добре показав себе при відновленні посадкових отворів у підшипникових щитах електродвигунів, проте застосувати його при відновленні посадкових отворів корпусів коробок передач, роздавальних коробок не просто через складну конфігурацію корпусних деталей, а також розташування осей отворів.

Спосіб нанесення полімерного покриття на деталі типу «вали» (патент РУЗ №5864) представлений рисунку 1.9. На деталь 1, що обертається, подають з ємності 2 дозовану кількість розчину полімеру. Для отримання покриття заданої товщини на певній відстані від деталі встановлюють ролик 3. При контакті ролика з в'язким полімером покриття реалізується тертя качення. Внаслідок цього поверхня покриття виходить гладкою, без задирів. Ролик 3 та деталь 1 обертаються у

# НУБІП України

зустрічному напрямку. Зазор 0,05 мм між деталлю та роликком встановлюють за допомогою супорта та металевого щупа.

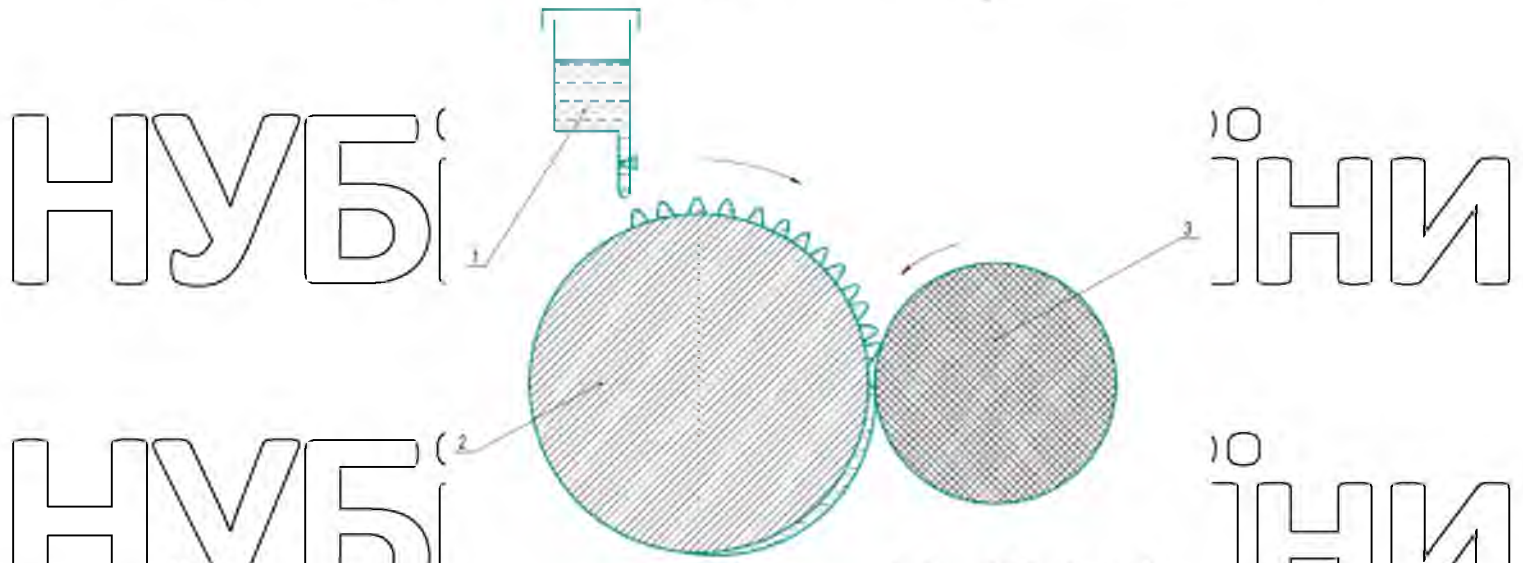


Рис. 1.9. Спосіб нанесення полімерного покриття на деталі типу «вал» (патент РУз №5864): 1 - бачок; 2 - деталь; 3 - ролик із фторопласту.

Однак застосування даного способу утруднено складністю забезпечення заданої точності при виготовленні фторопластового ролика. Якщо в лабораторних умовах нанесення покриття на одну деталь спосіб показав себе досить добре, то для умов промислового виробництва, коли потрібно одночасно формувати покриття декількох деталей типу «вал» це виявилось скрутним. Спотворення геометричних розмірів ролика призводить до його биття та формування різномовщинності полімерного покриття.

Аязбаєвим М.Д. розроблено технологію відновлення герметиком 60 посадочних місць підшипників на валах [48]. Деталі типу "вал" відновлюють зануренням та обливанням з використанням ракелю. Принципова схема установки для нанесення покриття із розчинів полімерів зануренням і обливанням показано на рисунку 1.10.

Нанесення покриттів зануренням та обливанням проводять на установці, що складається з ванни 7 для занурення і бачка 6 для обливання деталі, електроприводу, обертання від якого передається деталі 5, гвинтового механізму 8 регулювання положення ванни 7 по висоті і механізму регулювання товщини покриття. Останній включає ракель 4, штангу 3, мікрометричну головку 1 і пружину 2. Ракель розташований нижче осі деталі  $(0,2...0,3) d_{\text{дет}}$ . Зазор  $S$  між

ракедем та деталлю встановлюють за допомогою мікрометричної голівки. При нанесенні покриттів зануренням деталь занурюють в розчин полімеру на глибину 2...3 мм. Після декількох обертів деталі навколо осі ванну 7 опускають так, щоб деталь не торкалася розчину. Для запобігання стіканню розчину деталь обертають навколо осі 5...8 хв.

При нанесенні покриттів, наприклад, на шийку валу її поверхню обливають розчином полімеру з бачка 6. Деталь робить кілька обертів навколо осі. Потім подачу розчину припиняють, і деталь обертається 5...8 хв для запобігання стіканню розчину.

Перед нанесенням покриттів зануренням і обливанням з регулюванням їх товщини ракедем 4 останній встановлюють на відстані  $S$  від поверхні деталі 5. Під час нанесення покриттів ракець знімає зайвий розчин полімеру, вирівнює покриття і забезпечує заданий діаметр деталі. Після цього ракець відводять і деталі обертають навколо осі 5...8 хв.

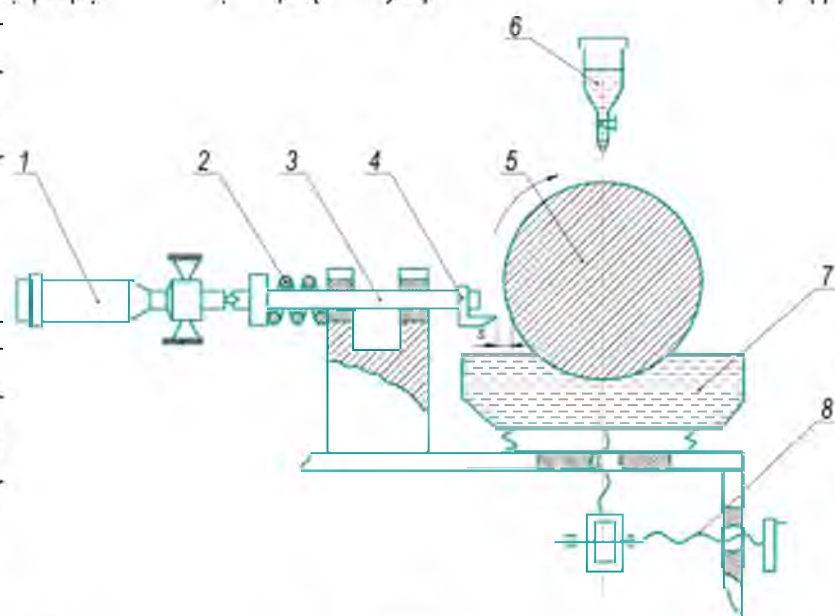


Рис. 1.10. Схема установки для нанесення покриттів з розчинів полімерів зануренням та обливанням: 1 - мікрометрична голівка; 2 - пружина; 3 - штанга; 4 - ракець; 5 - деталь; 6 - бачок; 7 - ванна; 8 - гвинтовий механізм;  $S$  - зазор між ракедем та деталлю.

При нанесенні п'яти шарів із просушуванням кожного з них можна отримати полімерне покриття завтовшки до 0,26 мм.

Методик давнього способу полягає в тому, що при формуванні покриття ракедем утворюються задири на поверхні полімеру, відбувається налипання

затверділого полімеру на ріжучій кромці факелю і тим не забезпечується необхідна шорсткість і точність покриття. Після термічної обробки герметика 6Ф розмір (товщина) покриття змінюється на величину усадки полімерного матеріалу. Усадка залежить від в'язкості розчину полімеру, геометричних розмірів деталі, умов затвердіння та визначити її розрахунками важко.

Найбільш підходящим із розглянутих способів є останній спосіб. З урахуванням усунення недоліків способу, описаних раніше, пропонується наносити покриття зануренням підшипника у ванну з розчином полімерного матеріалу. Покриття має формуватися рівномірним за рахунок обертання підшипника та текучості полімерного розчину під дією сили тяжіння. Необхідно розробити модель формування покриття з розчину еластомеру на зовнішньому кільці підшипника, що обертається.

### **1.3 Класифікація полімерних матеріалів з оброблюваності різанням та способи їх механічної обробки**

Пластмаси – неметалічні матеріали, що включають до свого складу синтетичні високомолекулярні смоли з добавками з наповнювачів, пластифікаторів, барвників та інших речовин, що надають пластмас задані споживчі властивості. За своєю поведінкою під дією температури пластмаси ділять на два види: термопласти та реактопласти. Термопласти, перебуваючи у твердому стані при кімнатній температурі, при нагріванні понад  $70...100^{\circ}\text{C}$  переходять у пластичний стан без будь-яких хімічних перетворень, а при охолодженні знову тверднуть. Реактопласти при нагріванні не розм'якшуються і не змінюють своїх властивостей. При нагріванні вище критичної температури для даного матеріалу вони починають обуглюватися, горіти, або, інакше, деструктують [85].

Достоїнствами пластмас є: задовільна міцність, високі теплоізоляційні властивості, шумопоглинаючі та деміфуючі властивості, корозійна стійкість, можливість фарбування у різні кольори.

Пластмаси мають ряд недоліків: відносно низьку теплостійкість, повзучість, старіння під впливом температури, світла та вологи, анізотропні властивості. Роботоздатність пластмасових деталей зберігається в діапазон температур від  $-60$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ . Спеціальні марки пластмаси зберігають працездатність до температури



5  
+350°С. Пластмаси мають більшу повзучість ніж метали. Старіння пластмас під впливом зовнішніх факторів характеризується інтенсивністю і початкові якості в результаті знижуються до 15...30%.

Подураєвим В.Н. сформульовані особливості пластмас при обробці різанням

[86]:

1) схильність до сколювання при точінні внаслідок чого виникає викривлення обробленої поверхні на вході та виході інструменту, збільшується шорсткість. Щоб уникнути цього, ріжучий клин інструменту повинен мати великі значення передніх і задніх кутів. Підвищене зношування ріжучого інструменту є причиною збільшення шорсткості обробленої поверхні.

2) анізотропія властивостей пластмаси та підвищені абразивні властивості деяких пластмас, викликають інтенсивне зношування та перешкоджає отриманню обробленої поверхні з низькою шорсткістю. Наприклад, знос різців при точінні склотекстоліту перевищує знос при обробці сталей 30, 50 і чавуну;

3) низька теплопровідність пластмас є причиною зменшення тепловідведення із зони різання, що призводить до інтенсивного нагрівання ріжучого інструменту, оплавлення, задир, руйнування обробленої поверхні. При механічній обробці реактопластів виникає інтенсивне пилоутворення, що вимагає використання спеціальних відсмоктуючих пристроїв.

4) використання СОЖ часто неможливе через гігроскопічність деяких пластмас або внаслідок утворення пасти з пилю та СОЖ, яка потрапляє на інструмент, ускладнюючи обробку або налипає на поверхні деталей верстата, викликаючи в подальшому їхнє кородування.

Найчастіше для охолодження під час обробки пластмас застосовують стиснене повітря;

5) пружна деформація пластмасових деталей в ході обробки, підвищений коефіцієнт лінійного розширення пластмас, інтенсивне зношування різців ускладнює отримання розмірів деталей високої точності.

Оброблюваність полімерів різанням оцінюють їх здатністю легше або важче піддаватися обробці різанням. Для кількісної оцінки оброблюваності полімерів найбільше застосування отримав критерій оцінки за швидкістю різання коефіцієнт відносної обробки  $K_v$ . Його визначають як відношення швидкості

різання  $V$  оброблюваного матеріалу до швидкості  $V_{\text{ет}}$  різання матеріалу прийнятого за еталон, за однакових періодів стійкості та інших рівних умов:  $K_v = V/V_{\text{ет}}$ . В якості еталонного вибирають всебічно досліджений матеріал, що має найбільш подібні властивості з оброблюваним матеріалом.

Полімерний матеріал відноситься до категорії важкооброблюваних при значеннях коефіцієнта відносної оброблюваності  $K_v < 1$  легкооброблюваних при значеннях  $K_v > 1$ .

Штучний Б.П. класифікував пластмаси на шість груп оброблюваності різанням [85]. До першої групи оброблюваності відносять термопласти без наповнювача, що мають відносно однорідні властивості і легко оброблюються точінням. При точінні таких матеріалів утворюється безперервна стружка і досягається низька шорсткість обробленої поверхні.

До другої групи відносять термопласти (полістирол, фторопласт) із металевим порошковим наповнювачем. Такі матеріали відносно легко обробляються точінням, але через наявність металевих порошків, є особливості у процесі обробки та у призначенні ріжучого інструменту.

До третьої групи відносять реактопласти категорій пінопластів та поропластів. Ці матеріали мають високу пористість, є найлегшими та їх обробка стандартним різальним інструментом неможлива.

При обробці застосовують інструменти спеціальної конструкції, які мають великі передні кути, малі кути загострення, виключено використання СОЖ.

До четвертої групи відносять реактопласти з порошковим наповнювачем типу деревного борошна, які мають інтенсивну абразивну дію на ріжучий клин інструменту. При різанні виникає уривчаста, дуже роздроблена стружка, є схильність до сколювання кромки оброблюваних поверхонь.

До п'ятої групи оброблюваності відносять реактопласти з волокнистим наповнювачем, наприклад скловолокніт АГ-4В. Завдяки волокнистим наповнювачам, такі матеріали, погано обробляються та надають інтенсивну абразивну дію на ріжучий інструмент.

До шостої групи відносяться реактопласти з листовим та шаруватим наповнювачем. Матеріали відрізняються анізотропними властивостями та поділяються на дві підгрупи. Текстоліти та гетинакси, які не мають абразивних

НУВБІП України 7  
компонентів відносно легко обробляються. Склотекстоліти, органічно-боронластики, мають високі абразивні властивості та найбільш погано обробляються з усіх видів пластмас.

НУВБІП України  
Обробка пластмас різними видами механічної обробки дозволяє отримати необхідну точність розмірів та шорсткість поверхні деталей. Максимально високу точність розмірів (від 6 до 8 квалітету) та мінімальну шорсткість обробленої поверхні ( $Ra = 0,16 \dots 1,25$  мкм) отримують при шліфуванні, чистовому точінні, розточуванні та розгортанні. При свердлінні та фрезеруванні виходить більш висока шорсткість та менша точність розмірів оброблених поверхонь.

НУВБІП України  
Розглянемо як можливі способи обробки полімерних покриттів Ф-40С шліфування та точіння, їх переваги та недоліки.

НУВБІП України  
Шліфування пластмас забезпечує високу точність розмірів (6...8 квалітету); низьку шорсткість обробленої поверхні ( $Ra = 0,16 \dots 0,63$  мкм); видалення задирів, рисок, штрихів; надання обробленій поверхні прозорості та блиску та ін.

НУВБІП України  
З усіх видів абразивної обробки пластмас для полімерних покриттів Ф-40С найбільш придатні кругле шліфування та безцентрове шліфування.

НУВБІП України  
При круглому шліфуванні пластмасових заготовок використовують абразивні круги діаметром від 200 до 500 мм. При шліфуванні термопластів та не наповнених реактопластів використовують круги із чорного або зеленого карбиду кремнію. У разі обробки пластмас із порошковим наповнювачем використовують круги з нормального білого електрокорунду. Пластмаси шостої групи оброблюваності, які мають високі абразивні властивості, обробляють кругами з натуральних та синтетичних алмазів.

НУВБІП України  
Внаслідок низької теплостійкості пластмас, відбувається активне злипання останніх із зернами та зі зв'язкою шліфувального круга. Це призводить до інтенсивного засалювання круга, і як наслідок, виникнення на поверхні різання припадів, що не припустимо.

НУВБІП України  
Безцентрове шліфування застосовують для обробки реактопластів. Процес проводять на безцентрово-шліфувальних металообробних верстатах. Щоб виключити інтенсивне забивання пор круга, останні активно охолоджують емульсією. При безцентровому шліфуванні гетинаксу, текстоліту, склотекстоліту забезпечується низька шорсткість поверхні і висока точність розмірів, проте через

використання охолоджуючої рідини, після шліфування деталь слід обов'язково висунути стиснутим повітрям. Це необхідно через те, що без сушіння матеріал деталі активно поглинає охолоджувальну рідину і змінює свої розміри (розбухає).

Таким чином, шліфування полімерних матеріалів має істотний недолік - засалювання шліфувального круга, і як наслідок необхідність застосування в процесі обробки рідини, що охолоджує.

Остання внаслідок гігроскопічності полімерних матеріалів негативним чином впливає на точнісні характеристики полімерного покриття та його довговічність полімерного покриття.

Як згадувалося вище, чистове точіння пластмас забезпечує 6..8 квалітет і низьку шорсткість обробленої поверхні в межах  $Ra = 0,16...0,63$  мкм. З урахуванням того, що глибина різання полімерного покриття Ф-40С становить  $t = 0,1...0,3$  мм чистове точіння цілком придатне для таких покриттів. Так еластомер Ф-40С відноситься до полімерних матеріалів першої групи оброблюваності, слід очікувати отримання безперервної зливної стружки, високої точності розмірів та низької шорсткості обробленої поверхні. Слід особливо відзначити, що відпадає, як у випадку з шліфуванням, необхідність в охолоджувальній рідині, яка негативним чином впливає на точнісні характеристики полімерного покриття та його довговічність.

Необхідні теоретичні та експериментальні дослідження, які дозволять обґрунтувати параметри механічної обробки різанням (чистовим точінням) полімерних покриттів еластомерів, розробити технологічні рекомендації

#### **1.4 Висновки. Мета та завдання досліджень**

Вартість корпусних деталей істотно впливає на розмір матеріальних засобів, що витрачаються при ремонті автотракторної техніки. Основною причиною є їхня висока ціна, в порівнянні з іншими типовими деталями. Корпусні деталі є базовими деталями і тому визначають переважно ресурс всього агрегату. Від 60 до 90% корпусних деталей вибраковується і прямує на відновлення через знос посадкових отворів під підшипники [62].

Основною причиною зношування посадкових отворів є фреттинг-корозія [7, 11, 12, 15].

Аналіз літературних джерел показав, що способи відновлення полімерними матеріалами запобігають фреттинг-корозії посадкових місць підшипників та багаторазово підвищують ресурс підшипникових вузлів [38, 41, 68, 75].

Найбільш технологічним є спосіб відновлення посадкових отворів у корпусних деталях, заснований на нанесенні полімерного покриття на зношену поверхню отворів. Однак існуючі технології передбачають ручне нанесення полімерного покриття, не виключають усадку полімерного матеріалу при затвердінні, що обумовлює не високу точність розмірів відновлених отворів.

Пропонується відновлювати посадки підшипників у корпусних деталях методом ремонтних розмірів [58]. Посадочні отвори в залежності від зношування розточують під три ремонтні розміри. Оброблений отвір комплектують новим підшипником, на зовнішнє кільце якого нанесено полімерне покриття з розчину еластомеру Ф-40С відповідної товщини, що забезпечує нерухомість з'єднання.

Для реалізації методу ремонтних розмірів запропоновано спосіб нанесення полімерних покриттів заданого ремонтного розміру підшипники кочення [58, 87, 92]. Покриття наносять зануренням підшипника у ванну з розчином полімерного матеріалу. Покриття має формуватися рівномірним за рахунок обертання підшипника та перебігу полімерного розчину під дією сили тяжіння. Необхідно розробити модель формування покриття з розчину еластомеру на зовнішньому кільці підшипника, що обертається.

Дуже перспективним напрямом у розвитку науки про застосування полімерних матеріалів у ремонті сільськогосподарської техніки є дослідження із застосуванням моделювання. Необхідні теоретичні дослідження щодо вибору та обґрунтування критерію подібності для моделювання процесів формоутворення полімерного покриття, при нанесенні зануренням полімерного розчину на підшипник, що забезпечить значне скорочення обсягу досліджень та скорочення матеріальних витрат.

Щоб унеможливити вплив усадки полімерного матеріалу при затвердінні і забезпечити задані розміри полімерного покриття, останнє після нанесення на підшипник, термічно обробляють і потім піддають механічній обробці різанням [58]. Полімерні матеріали, на відміну від металів, мають особливі специфічні властивості: низька теплопровідність, висока еластичність, гігроскопічність та ін.

# НУБІП України

Тому механічна обробка полімерних матеріалів має особливості, які необхідно враховувати, щоб отримати оброблену поверхню високої якості. Потрібні теоретичні та експериментальні дослідження, які дозволять обґрунтувати параметри механічної обробки різанням полімерних покриттів із еластомерів, розробити технологічні рекомендації.

# НУБІП України

Необхідно на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розробити технологію нанесення покриттів з розчину еластомеру Ф-40С на підшипники кочення з їх наступною механічною обробкою.

# НУБІП України

Метою магістерської роботи є розробка технології механізованого нанесення полімерних покриттів із розчину еластомеру Ф-40С на підшипники кочення, що забезпечує підвищення точності та довговічності посадок підшипників при відновленні корпусних деталей сільськогосподарської техніки методом ремонтних розмірів.

# НУБІП України

На підставі проведеного аналізу, у магістерській роботі сформульовано такі завдання досліджень.

- розробити модель формування покриття з розчину еластомеру на зовнішньому кільці підшипника, що обертається,
- дослідити процес механічної обробки полімерних покриттів із розчину еластомеру Ф-40С;
- дослідити довговічність посадок підшипників у корпусних деталях, відновлених еластомером Ф-40С
- розробити технологію відновлення посадкових отворів корпусних деталей еластомером Ф-40С та оцінити її техніко-економічну ефективність.

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ НА ЗОВНІШНІХ КІЛЬЦЯХ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

### НУБІП України

#### 2.1 Модель формування покриття зануренням із розчину еластомеру на зовнішньому кільці підшипника

Розглянемо основні етапи формування полімерного покриття зовнішньої поверхні підшипника кочення (рисунок 2.1).

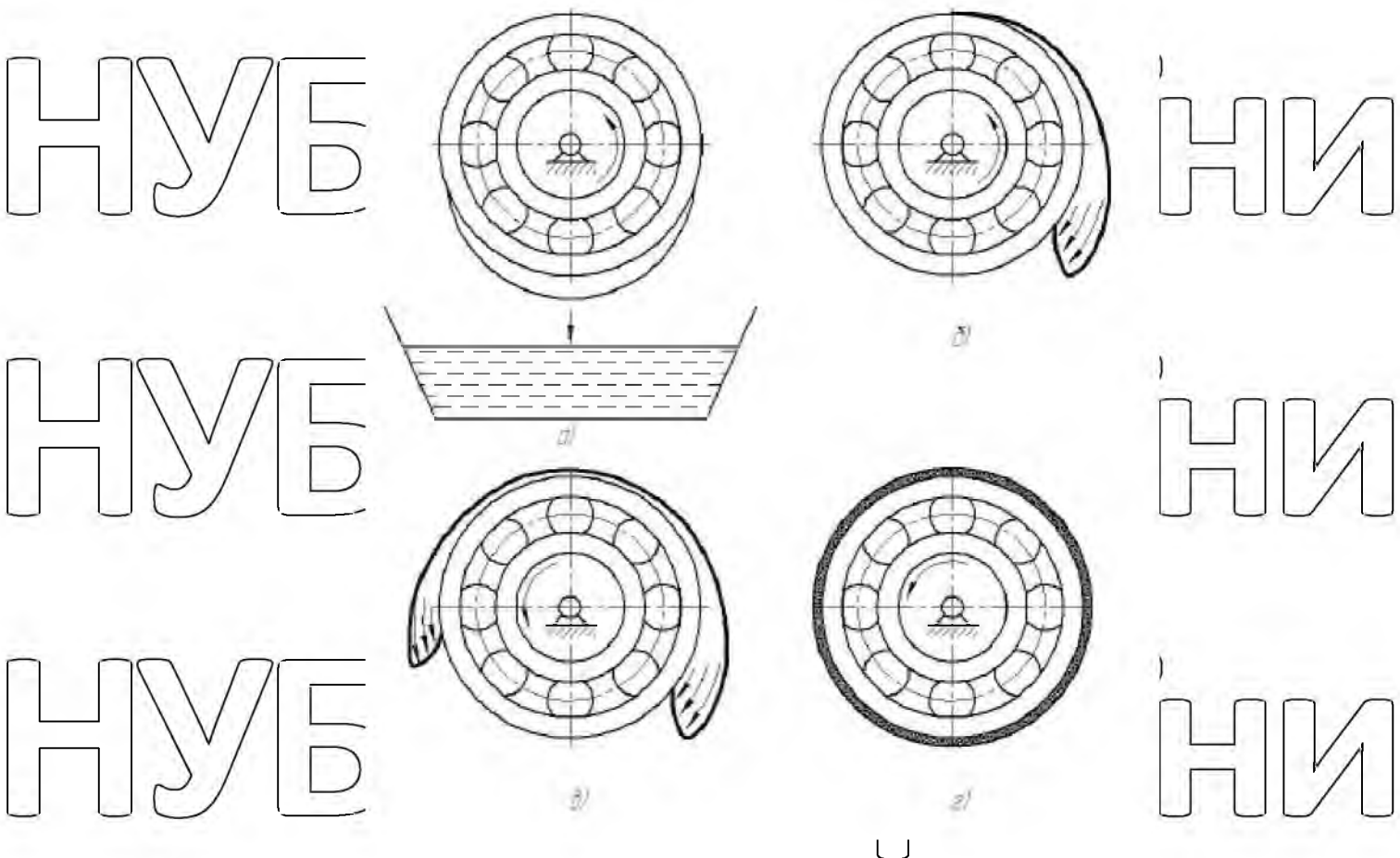


Рис. 2.1. Розподіл рідкого полімерного шару на поверхні зовнішнього кільця при обертанні підшипника

Спочатку підшипник занурюють у ванну з розчином полімеру на глибину кілька мм. Підшипник обертають три-чотири обороти, після чого 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 у нижній частині підшипника утворюється нарост рідини. Завдяки обертанню відбувається його перерозподіл по поверхні з четвертого в перший квадрант (рисунок 2.1 б), потім в другий і далі в третій

квадранти (рисунок 2.1 в). При обертанні з оптимальною швидкістю через кілька обертів на зовнішньому кільці формується покриття відносно рівної товщини.

Виходячи з геометричних розмірів підшипника, реологічних властивостей розчину полімерного матеріалу, визначимо гідравлічні характеристики трубопроводу прямокутного перерізу яким тече рідина і формується шар рівномірної товщини.

### 2.1.1 Втрати напору потоку рідини при протіканні по зовнішній поверхні підшипника

Розглянемо розміщення підшипника щодо поверхні порівняння (рисунок 2.2). Підшипник закріплений за допомогою оснастки у патроні токарного верстата. Вісь підшипника збігається з віссю шпинделя. Відстань від верхньої точки поверхні зовнішнього кільця до площини порівняння є геометричним напором  $Z_1$  в перерізі 1-1. Відстань від нижньої точки поверхні зовнішнього кільця до площини порівняння є геометричним напором  $Z_2$  в перерізі 2-2.

Представимо поверхню зовнішнього кільця підшипника якою протікає потік рідини як трубопровід прямокутного перерізу з малим радіусом кривизни по довжині (рисунок 2.3).

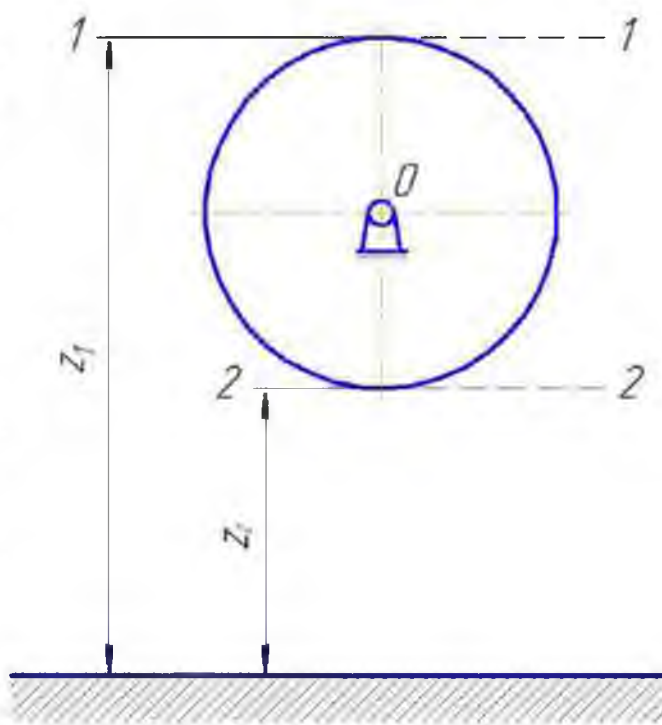


Рис 2.2. Розміщення підшипника щодо площини порівняння



**НУБІП УКРАЇНИ**  
 $Z_1$  - відстань від верхньої точки поверхні зовнішнього кільця до поверхні порівняння (геометричний напір у перерізі 1-1),  $Z_2$  - відстань від нижньої точки поверхні зовнішнього кільця до площини порівняння (геометричний напір у перерізі 2-2)

**НУБІП УКРАЇНИ**  
 Запишемо рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w1-2} \quad (2.1)$$

де  $Z_1, Z_2$  - геометричний напір у перерізах 1-1 та 2-2;

**НУБІП УКРАЇНИ**  
 $\frac{P_1}{\gamma}, \frac{P_2}{\gamma}$  - гідростатичний напір у перерізах 1-1 та 2-2;  
 $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}, \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$  - швидкісний напір у перерізах 1-1 та 2-2;

$h_{w1-2}$  - загальні втрати напору;

$P_1, P_2$  - тиск у перерізах 1-1 та 2-2;

**НУБІП УКРАЇНИ**  
 $\alpha_1, \alpha_2$  - коефіцієнти кінетичної енергії, що враховують фактичну швидкість потоку в перерізах 1-1 та 2-2;

$v_1, v_2$  - середня швидкість потоку в перерізах 1-1 та 2-2;

$\gamma$  - питома вага рідини;

$g$  - прискорення вільного падіння.

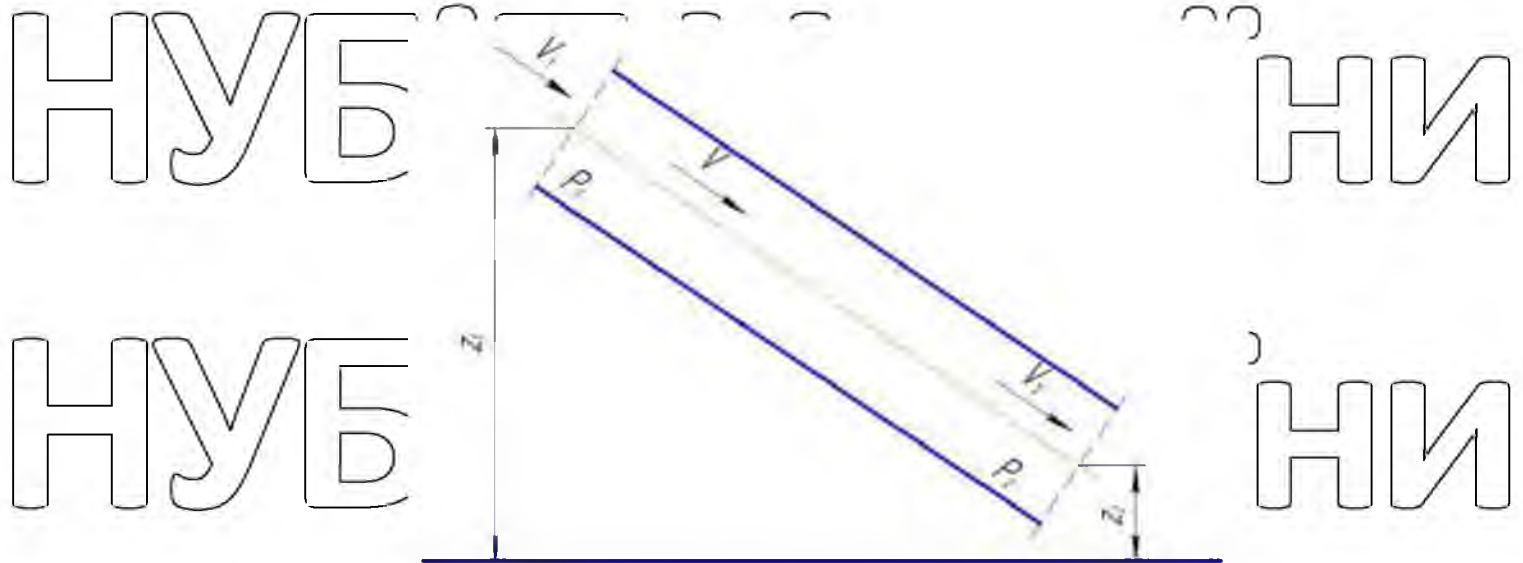


Рис. 2.3. Трубопровід прямокутного перерізу малої кривизни за довжиною

**НУБІП УКРАЇНИ**  
 $Z_1, Z_2$  - геометричний напір у перерізах 1-1 та 2-2;  $P_1, P_2$  - тиск у перерізах 1-1 та 2-2;  $v_1, v_2$  - середня швидкість потоку в перерізах 1-1 та 2-2

Рідина рухається по руслу (зовнішньої поверхні підшипника) самопливом, тому виконується умова

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

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

Запишемо рівняння нерозривності потоку рідини

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{W_2}{W_1}, \quad (2.3)$$

де  $W_1, W_2$  - живий переріз потоку в перерізах 1-1 та 2-2.

Виходячи з умови рівнотовщинності покриття, маємо рівність

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

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

Відповідно має місце рівність  $W_1 = W_2$ .

Тоді відповідно до виразу (2.3) отримаємо рівність

$$g_1 = g_2 \quad (2.4)$$

З урахуванням рівностей (2.2) і (2.4), формула (2.1) набуде вигляду

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

Як випливає з формули (2.5) загальні втрати напору дорівнюють різниці геометричних напорів  $Z_1$  і  $Z_2$ .

Визначимо перепад тисків  $P_f$  (втрати тиску на тертя - різниця тисків, яка витрачається на подолання опору тертя під час руху рідини від перерізу 1-1 до перерізу 2-2)

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

де  $\rho$  - густина рідини.

Проте слід призначати дуже високі значення швидкості руху русла, тобто частоти обертання підшипника, так при частоті обертання  $n \geq 20 \text{ хв}^{-1}$  має місце скидання розчину полімерного матеріалу з поверхні підшипника під дією відцентрової сили [38].

Частоту обертання підшипника слід визначати за формулою

$$n = \frac{u}{\pi D_n} = \frac{M_n}{2\pi u D_n (1 - \frac{y}{a})}, \quad (2.7)$$

де  $D_n$  - діаметр підшипника, м;

$M_p$  - поправочний коефіцієнт частоти обертання підшипника.

$u$  - лінійна швидкість руху потоку, м/с;

$P_f$  - перепад тисків, Па;

$\mu$  - динамічний коефіцієнт в'язкості рідини, Па·с;

$l$  - відстань між перерізами 1-1 та 2-2;

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

$y$  - нормаль до поверхні потоку, м.

## 2.2 Параметри механічної обробки різанням полімерних покриттів еластомерів

### 2.2.1 Обґрунтування геометричних параметрів ріжучого інструменту для обробки покриттів з еластомеру Ф-40С

При точінні пластичних мас ріжучий клин інструменту сприймає сили, прикладені до передніх  $N$  і  $F$  і задніх  $N_1$  і  $F_1$  поверхонь (рисунок 24). Сили  $N$  і  $F$  активно впливають на процес стружкоутворення. Сили  $N_1$  і  $F_1$  не беруть участь у процесі стружкоутворення і являються результатом пружної реакції оброблюваного матеріалу. Сили, що сприймаються передньою та задньою поверхнями ріжучого клина інструменту, групують у три складові:  $P_z$ ,  $P_y$  та  $P_x$ .

Сила  $P_z$  є головною складовою, оскільки по ній розраховують потужність приводу металообробного верстата, міцність різальних інструментів тощо. Сила  $P_y$  є радіальною складовою силою, якою користуються при розрахунку пружних деформацій заготовок.  $P_x$  є осовою складовою силою, за якою розраховують механізм подач.

Значення сил різання  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  визначають динамометрами в ході експериментальних досліджень, за результатами яких отримують наступні 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;

$x_{P_z}, y_{P_y}, y_{P_x}$  - показники ступеня.

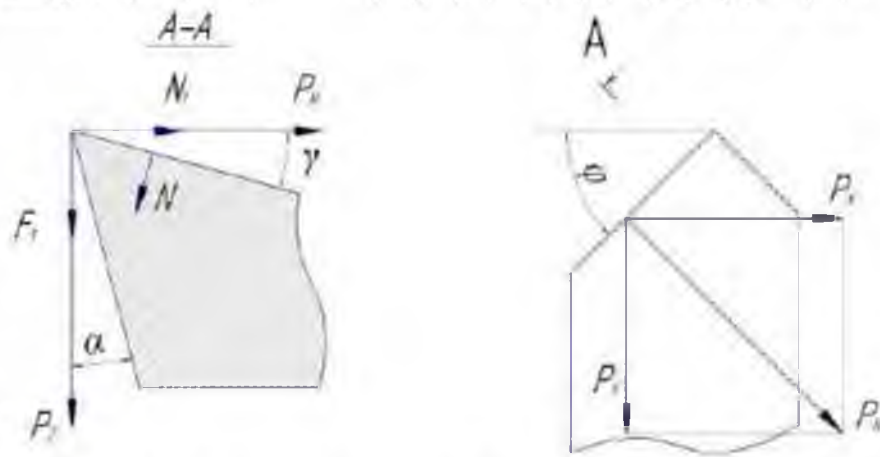


Рис 2.4. Сили, що діють на ріжучий клин інструменту

Через низьку твердість пластмас сили різання при їх обробці відрізняються низькими значеннями. Наприклад, сила  $P_z$  при точінні термопластів набуває значення від 2 до 50 Н., а у разі обробки реактопластів діапазон значень становить 5...250 Н.

Іншою особливістю є те, що у формуванні сил  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  переважають значення мають сили, прикладені до задніх поверхонь ріжучого клина інструменту. За даними Штучного Б.П. при точінні склотекстоліту СТ сили, прикладені до задніх поверхонь ріжучого клина інструменту, становлять від 70 до 95% значень сил  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$ . Через невеликі значення сил, що діють на передніх поверхнях інструментів, сила  $P_z$  при точінні тільки на 10...20% більше сили  $P_y$ .

Геометричні параметри різця значною мірою визначають значення сил  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$ . Першорядне значення має передній кут.

Збільшуючи його від  $-20$  до  $+40^\circ$  можна досягти зменшення сил різання від 2 до 4 разів. Відомо, кожен матеріал у певних умовах обробки має таке значення переднього кута, у якому радіальна складова сила  $P_y = 0$ . Цей кут називають критичним переднім кутом. Точіння пластмас з критичним переднім кутом забезпечує кращі показники точності розмірів і шорсткості обробленої поверхні. Критичний кут є оптимальним переднім кутом різального інструменту, тому що напрямок рівнодіючої сили різання при такому куті збігається з напрямком різання.

З цієї причини деформація матеріалу, що обробляється мінімальна.

# НУВБІП України

Слід враховувати, що при обробці одного матеріалу зі зміною подачі та глибини різання значення критичного переднього кута змінюватиметься в діапазоні від  $+40$  до  $+5^\circ$ .

# НУВБІП України

Передню поверхню різців слід полірувати, не рекомендуються фаски та викружки, тому що вони викликають завивання стружки. Для точіння реактопластів передній кут  $\gamma$  рекомендується від  $0$  до  $10^\circ$ . Не наповнені термопласти з однорідною структурою (органічне скло, вініласт) обробляють різцем з переднім кутом  $\gamma = 10 \dots 20^\circ$ .

# НУВБІП України

Не слід призначати передній кут різців  $\gamma > 20^\circ$  та  $\gamma < -5^\circ$  через те, що при точінні утворюється стружка надлому і значно збільшується шорсткість обробленої поверхні.

# НУВБІП України

На стійкість різців превалюючий вплив має значення заднього кута  $\alpha$ . З його збільшенням знижується вплив пружно відновленого матеріалу на задню поверхню різця після його проходження відповідно сили різання зменшуються. Однак із збільшенням заднього кута  $\alpha$  знижується тепловідвідна здатність ріжучого клина, і тому при обробці пластмас оптимальні значення заднього кута обмежуються діапазоном  $15 \dots 25^\circ$  [65].

# НУВБІП України

При значеннях головного кута менше  $30^\circ$  збільшуються радіальні сили  $P_y$ , що призводить до виникнення вібрацій і спотворення форми оброблюваної заготовки. Головний кут у плані забезпечує отримання шорсткості оброблюваної поверхні високого класу при значеннях  $\phi = 30 \dots 60^\circ$ .

# НУВБІП України

Зі збільшенням допоміжного кута  $\phi_1$  у плані від  $10$  до  $25^\circ$  шорсткість поверхні підвищується в  $1,2 \dots 1,4$  рази, тому допоміжний кут у плані  $\phi_1$  призначають у діапазоні від  $12$  до  $15^\circ$ .

# НУВБІП України

Шорсткість поверхні знижується зі збільшенням радіуса при вершині різця  $r$ .  
При виробництві різців використовують наступний інструментальний матеріал: швидкорізальні сталі, тверді металокерамічні сплави і алмази. Для точіння заготовок із пластмас першої групи оброблюваності застосовують різці із швидкорізальної сталі за ГОСТ 10265-73, в умовах серійного та масового виробництва застосовують різці з пластинами із твердих сплавів ВК-6, ВК-8 з конструктивними параметрами за ГОСТ 21407-75, ГОСТ 21412-75 та алмазними різцями за ГОСТ 13288-76, ГОСТ 13295-76. У разі точіння заготовок із пластмас

другої групи оброблюваності застосовують різці з пластинками з твердих сплавів Т14К4, Т-15К6, ВК-8 та алмазні різці [11].

Дослідження показали, що зносостійкість різців групи ВК у шість разів вища за різці групи ТК, через те, що перші мають в 1,6...2,6 разу більшу теплопровідність [76]. Тому при обробці не наповнених полімерних матеріалів, зважаючи на їх низьку теплопровідність, краще використовувати різці групи ВК.

На вибір оптимальних геометричних параметрів різучого інструменту впливають специфічні властивості пластмас, що обробляються: анізотропія властивостей і не стабільні властивості пластмас в межах навіть однієї марки (таблиця 2.1).

Основним фактором, що впливає на вибір переднього кута, є твердість оброблюваного матеріалу. Максимальні значення передніх кутів  $\gamma = 10...20^\circ$  призначають різцям при точінні термопластичних пластмас першої та другої групи оброблюваності [55]. При обробці пластмас четвертої ... шостої груп оброблюваності значення передніх кутів зменшують до  $\gamma = 0...10^\circ$ . Еластомер Ф-40С відноситься до полімерних матеріалів першої групи оброблюваності, слід очікувати отримання безперервної зливної стружки, високої точності розмірів та низької шорсткості обробленої поверхні. Попередньо вибираємо значення передніх кутів  $\gamma = 10...20^\circ$ . Оптимальне значення переднього кута буде обрано за результатами експериментального дослідження залежності сили різання  $P_y$  від переднього кута  $\gamma$  (визначення критичного переднього кута).

Таблиця 2.1.

Рекомендовані геометричні параметри різців при обробці пластмас

Група оброблюваності	Обробляемий матеріал	Матеріал інструменту	$\gamma^\circ$	$\alpha^\circ$	$\phi^\circ$	$\phi^\circ$	г, мм
1	2	3	4	5	6	7	8
Перша	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
			BK8	15	15	45	45
	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
Друга	ПТЗ	ТІ 4КВ	15-18	15-20	45	15	0,5-1
	НАМИ-ФБМ	Т15К6, ВК8	10	20	45	15	0,5-1
Третя	Пінопласт	У10А, Р6М5	40-50	8-12	-	-	-
Четверта	Фенопласт К-18-2	ВК3М	10	20	45	15	1
	Амінопласт МФ	ВК8	20	20	45	15	1
П'ята	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
Шоста	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, ВК3М	5	25	45	15	0,5-2
		АСБ, АСПК	-5	10	45	15-30	1,5-2
	Склотекстоліт ФН	ВК2, ВК3М	10	10	45	15	0,5-2
	Склотекстоліт СК-9Ф	ВК2, ВК3М	0	20	45	15	0,9-3
	Склотекстоліт 27-63 «С»	ВК2, ВК3М	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, ВК3М, ВК4, ВК8	10	20	1-3	45	2
	Склопластик П-5-2	ВК2, ВК3М	10	20	40-45	20	1-2
	Склопластик СТЕФ	ВК3М, ВК8, АСБ, АСПК	0-2	15-20	40-45	20	1-2

Геометричні параметри різця впливають на шорсткість оброблюваної поверхні. При критичному передньому куті шорсткість поверхні мінімальна. Зі збільшенням заднього кута  $\alpha$  шорсткість зменшується, проте його надмірне

збільшення неприпустимо через зниження тепловідвідної здатності ріжучого кута, тому призначаємо максимальне значення, що рекомендується  $\alpha = 25^\circ$ .

Як згадувалося раніше, головний кут у плані забезпечує низьку шорсткість обробленої поверхні при значеннях від  $30$  до  $60^\circ$ . Призначаємо значення  $\varphi = 45^\circ$ .

Зі збільшенням допоміжного кута  $\phi_1$  у плані від  $10$  до  $25^\circ$  шорсткість поверхні підвищується в  $1,2 \dots 1,4$  рази. Призначаємо значення  $\phi_1 = 15^\circ$ .

З урахуванням вищевикладеного обрані наступні геометричні параметри різця для обробки полімерних покриттів з еластомеру Ф-40: значення переднього кута  $\gamma = 10 \dots 20^\circ$ ; заднього кута  $\alpha = 25^\circ$ ; головного кута в плані  $\varphi = 45^\circ$ ; допоміжного кута  $\phi_1 = 15^\circ$ ; радіуса при вершині різця  $r = 0,5$  мм.

## 2.2.2 Вплив параметрів режиму механічної обробки на якість полімерного покриття

При призначенні режимів різання необхідно вибрати такі поєднання швидкості різання, глибини та подачі, при яких буде отримана висока стійкість різців та продуктивність обробки із забезпеченням заданої якості обробленої поверхні деталі.

Подача інструменту  $S$  найбільш істотно впливає на шорсткість поверхні. Зі збільшенням подачі  $S > 0,2 \dots 0,25$  мм/об різко збільшується висота мікронерівностей, з'являються сколи кромки поверхонь.

Вплив глибини та швидкості різання на шорсткість поверхні не значний. Зміна висоти мікронерівностей при обробці гострим різцем зазвичай не виходить за межі одного класу.

Елементи режиму різання інакше впливають на знос і стійкість різців. Першорядне значення має швидкість різання, далі за рівнем впливу подача та глибина. З цієї причини, при призначенні режиму різання, на початку вибирають глибину різання, потім подачу та ув'язання швидкості різання.

При істотних змінах швидкості різання абсолютні значення сил різання змінюються незначно, проте змінюється частота і амплітуда їх коливання. Це насамперед властиво обробці різанням композиційних пластмас.

Глибина та подача різання різних марок пластмас не однозначно впливають на сили різання. У реактопластах зі збільшенням подачі та глибини різання сили  $P_z$ ,



$P_y$ ,  $P_x$  однозначно збільшуються. У термопласта залежності інші. Зі збільшенням подачі при точінні органічного скла різцем ВК8 сили  $P_z$  і  $P_y$  збільшуються, а сила  $P_x$  зменшується; при точінні вініласту збільшення подачі призводить до зменшення сил  $P_y$  та  $P_x$ .

Подачу вибирають з урахуванням необхідної шорсткості обробленої поверхні (таблиця 2.2) та виключення виникнення сколів та припалів на ній. Остаточне значення подачі коригують за паспортними даними верстата, вибираючи найближче менше значення.

Таблиця 2.2.

Рекомендовані значення подач при точінні пластмас

Клас оброблюваності матеріалу	Марка інструментального матеріалу	Ra, мкм	Подача S, мм/об, при радіусі вершини різця r, мм			
			До 0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2
Термопласти	Швидкоріжуча 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	0,10-0,15	-
		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	Швидкоріжуча сталь Р6М5, твердий сплав, ВК2, ВК6, ВК8	1,25-2,5	0,03-0,05	0,04-0,07	0,05-0,09	-
		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 з урахуванням значення глибини різання та подачі можна вибрати за даними таблиці 2.3. Слід дотримуватися правила: чим більше значення глибини різання та подачі, тим менше значення має мати швидкість різання.

## Режими різання при точінні пластмас

Групи оброблюваності	Оброблюємий матеріал - представник	Марка інструментального матеріалу	v, м/с	S, мм/об	Глибина різання t, мм
Перша	Органічне скло	ВК8	1-5	0,07-0,25	0,2-2,5
		АСПК	5-16,8	0,08-0,12	0,5-1
	Поліетилен	Р6М5	1,5-6	0,1-0,5	0,5-5
	Вініпласт	Р6М5	1,68-4,65	0,1-0,5	0,5-5
	ПТФЕ	ВК8	1,1-5	0,1-0,25	0,5-4
		Р6М5	0,5-5	0,03-0,11	0,25-1
		АСПК	4,2-6,65	0,03-0,11	0,25-0,5
	Поліпропілен	Р6М5	1,0-1,75	0,1-0,5	0,5-5
		ВК8	1,7-6,65	0,05-0,4	0,5-1
	Поліамід	Р6М5	1,7-5	0,1-0,3	0,5-1
	Полікапролактам марки Б	Р6М5	1,3-4,75	0,2-0,5	0,5-5
ВК8		4,2-13,3	0,05-0,45	0,5-1	
Друга	ПТЗ	Т15К6	1,7-3,4	0,03-0,1	0,25-0,5
		Т15К6	1,7-4	0,05-0,1	0,25-0,5
	АСБ	3-5	0,03-0,1	0,2-0,5	
Третя	Пінопласт	Р6М5	2,5-5	0,05-0,2	0,5-10
Четверта	Фенопласт К-18-2	ВК3М	1,7-3,4	0,1-0,4	0,5-4
П'ята	Кордоволокніт	ВК6	6,65-13,3	0,05-0,2	0,5-1
	Скловолокніт АГ-4	ВК2	2,5-5	0,1-0,5	0,5-4
Шоста	Гетинакс	ВК8	2,5-5	0,1-0,5	0,5-3
		АСБ	5,7-7,3	0,1-0,5	1-3
	Текстоліт ПТ, ПТК	ВК8	3,3-6,65	0,1-0,5	1-3
	Склотекстоліт СТ	ВК2	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	ВК2	2,5-3,4	0,1-0,5	1-4
	Склотекстоліт СК-9Ф	ВК2	1,7-2,5	0,1-0,4	1-4
	Склопластик 27-63 «С»	ВК2, ВК3	3,4-5,0	0,07-0,43	0,5-3
	Склопластик	ВК8, АСБ	0,25-1,1	0,1-0,4	0,5-4
		АСПК	5,0-6,35	0,2-0,4	0,5-2
	Орґанопластик	ВК8	1,8-2,6	0,1-0,4	0,5-4
Склопластик П-5-2	ВК2	0,8-2,0	0,2-0,3	0,5-4	

За прийнятими значеннями швидкості різання  $v$  визначають розрахункову частоту обертання шпинделя верстата,  $c^{-1}$

$$n_0 = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}$$

де  $D$  - діаметр заготовки.

За паспортом верстата вибирають найближче менше частоти обертання шпинделя верстата  $n_v$  і розраховують фактичну швидкість різання, м/с

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

Якщо фактичне значення швидкості різання на 20...30% менше розрахункового, коригують у бік збільшення  $n_v$  за умови, що отримане фактичне значення швидкості різання не перевищує розрахункового значення більш ніж на 10%.

Глибина різання під час обробки полімерних покриттів еластомеру Ф-40 становить  $t = 0,2...0,3$  мм, шорсткість  $Ra = 1,2...1,5$  мкм. Користуючись таблицями 2.2 і 2.3 попередньо прийняли для підшипника 205 з полімерним покриттям ( $D = 52$  мм) наступний режим 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<sup>-1</sup>. Остаточний режим обробки буде прийнято після проведення відповідних експериментальних досліджень.

### Висновки

1. Отримана модель формування покриття з розчину еластомеру на зовнішньому кільці підшипника, що обертається.

2. Швидкість обертання підшипника для формування покриття з розчину еластомеру слід розраховувати за формулою (2.7). Для забезпечення рівнотовщинності полімерного покриття параметри безнапругного фрикційного руху слід вибирати таким чином, щоб забезпечувалося співвідношення

$$0,75 \leq \frac{y}{a} \leq 0,9.$$

3. Вибраний ріжучий інструмент – різець ВК-8 та вимагають експериментального уточнення геометричні параметри різця для обробки полімерних покриттів з еластомеру Ф-40: значення переднього кута  $\gamma = 10...20^\circ$ ; заднього кута  $\alpha = 25^\circ$ ; головного кута в плані  $\phi = 45^\circ$ ; допоміжного кута  $\phi_1 = 15^\circ$ ; радіусу при вершині різця  $r = 0,5$  мм.

4. Вибраний та вимагає експериментального уточнення режим механічної обробки полімерних покриттів з еластомеру Ф-40: 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.

### 3.1 Загальна методика досліджень

Сформульовані у першому розділі кваліфікаційної роботи мета та завдання досліджень лягли в основу розробленої загальної схеми теоретичних та експериментальних досліджень.

Об'єкти досліджень в магістерській кваліфікаційній роботі:

- плівки та покриття з розчину еластомеру Ф-40С;
- різальний інструмент – різець ВК-8;
- посадки підшипників у корпусні деталі, відновлені еластомером Ф-40С.

Лак Ф-40С є розчином композиції каучуку та модифікованої фенольної смоли в органічному розчиннику [38]. Розробником та виробником еластомеру є ВАТ «НДІ пластичних мас ім. Г.С. Петрова» (м. Москва). Еластомер Ф-40С надходить у реалізацію в рідкому вигляді (у вигляді розчину) розлитим у пластикові ємності різного об'єму.

До складу еластомеру Ф-40С входять:

- 1) смола ФКУ (феноло-формальдегідна смола на основі заміщеного фенолу вінілацетиленової структури) – 8 мас. %;
- 2) каучук синтетичний бутадиєн-нітрильний марки СКН-40С - 12 мас. %;
- 3) ацетон технічний, ГОСТ 2768-84 - 80 мас. %.

Еластомер Ф-40С є прозорою рідиною коричневого кольору, яка має наступні характеристики:

- масова частка сухого залишку - 20%;
- міцність зв'язку зі сталлю при зсуві при 20° С щонайменше - 5,0 МПа.

Щоб забезпечити зазор у з'єднанні «підшипник-отвір», останній розточували під необхідний розмір.

Для вимірювання діаметра отворів використовували індикаторний нутромір НИ-100 (ГОСТ 868-72) з індикаторною голівкою І-МИГ (ГОСТ 9696-82), ціна поділу якої становить 0,001 мм. Розміри полімерних покриттів та діаметр підшипників вимірювали важільними скобами підвищеної точності СРП-25 та СР-100 (ГОСТ 11098-75) з ціною поділки 0,001 та 0,002 мм відповідно.

В ході експериментальних досліджень використовували сучасне вимірювальне та випробувальне обладнання, прилади промислового виробництва, стенди, установки та пристрої оригінальної конструкції.

Дослідження проводили за приватними методиками, які наведені нижче.

### 3.2 Методика дослідження усадки еластомеру Ф-40С

Для дослідження усадки полімерних покриттів використовували розчини еластомеру Ф-40С різної в'язкості:  $\nu = 3157; 329$  та  $160$  мм<sup>2</sup>/с. Необхідну в'язкість забезпечували додаванням ацетону (ГОСТ 2768-84) в концентрований розчин еластомеру Ф-40С.

В'язкість розчину еластомеру Ф-40С  $\nu = 3157$  мм<sup>2</sup>/с контролювали віскозиметром типу ВНЖ (ГОСТ 10028-81Е) (рисунок 3.1).

Віскозиметр капілярний скляний типу ВНЖ призначений для визначення кінематичної в'язкості непрозорих рідин. Технічні характеристики віскозиметра ВНЖ представлені таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Технічні характеристики віскозиметра ВНЖ

№ п/п	Найменування	Розмірність	Значення
1	Внутрішній діаметр	мм	3,42
2	Постійна віскозиметра $K_H$	мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>	10,53
3	Постійна віскозиметра $K_B$	мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>	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  $T_1, T_2$  - середній арифметичний час заповнення рідиною нижнього та верхнього резервуарів, с;

$K_H$  і  $K_B$  - постійні віскозиметри нижнього та верхнього резервуарів.



Рис. 3.1. Пристосування для вимірювання кінематичної в'язкості розчинів еластомеру Ф-40С (віскозиметр ВПЖ-2)

Віскозиметр капілярний скляний типу ВПЖ-2 призначений для визначення кінематичної в'язкості прозорих рідин. Технічні характеристики віскозиметра ВПЖ-2 представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Технічні характеристики віскозиметра ВПЖ-2

№ п/п	Найменування характеристики	Розмірність	Значення
1	Діаметр капіляра	мм	1,77
2	Постійна віскозиметра К	мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>	1,001

Кінематичну в'язкість розраховували за формулою

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

де  $g$  - прискорення вільного падіння у місці виміру, м/с<sup>2</sup>,

$T$  - час стікання рідини, с;

$K$  - стала віскозиметра.

Зразки для дослідження усадки являли собою затверділі плівки, нанесені на підкладку, розчинів еластомеру в'язкістю  $\eta = 3157/329$  та  $160$  мм<sup>2</sup>/с. Форма плівок прямокутна, розміри  $60 \times 15$  мм.

# НУБІП України

Підкладка являє собою пластину з фторопласту 4. Розміри підкладки 200x160x4 мм.

На підкладку накладали рамку-трафарет, виготовлену з оцинкованого листа товщиною 0,5 мм, стали 08пс (ГОСТ 14918-80). Розміри рамки-трафарету 180x140x0,5мм. У рамці-трафареті прорізано п'ять вікон розмірами 62x17 мм.

Вікна у рамці-трафареті пошарово заповнювали розчином еластомеру Ф-40С, використовуючи кисть волосяну №3 «Поні». Кожен шар покриття пресувували протягом 10 хв. при температурі 23°C. Після завершення заповнення вікон рамки-трафарету еластомером Ф-40С, для забезпечення рівноолщинності плівок, поверхню покриттів формували фторопластовою пластиною розмірами 150x50 мм.

Зразки отверджали при температурі 23°C протягом 24 годин, після чого плівки вирізали лезом із рамки-трафарету. Граничне відхилення розмірів плівок за довжиною та шириною не перевищувало  $\pm 0,1$  мм.

Товщину плівок вимірювали в триразовій повторності важільною скобою підвищеної точності СРП-25 (ГОСТ 11098-75) з ціною розподілу 0,001 мм. Усадку матеріалу  $U$  розраховували за формулою

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

де  $h_{пл}$  і  $h_p$  - товщина полімерної плівки та товщина рамки-трафарету відповідно, мм.

## 3.3 Методика дослідження параметрів режиму занурення деталей у розчин еластомеру Ф-40С

Для дослідження параметрів режиму занурення деталей в розчин еластомеру Ф-40С розроблено лабораторну установку для нанесення на підшипники покриттів з розчину еластомеру Ф-40С (рисунок 3.2). Установка змонтована на базі токарного верстака 1К62 і включає в себе центрувальну збірну оправку 1, ванночку для полімерного розчину 2 і магнітну стійку 3. Ванночку для полімерного розчину виготовили з листа Ст. 3, завтовшки 2,0 мм. Спочатку виготовили розгортку ванни, потім краї ванни загнули і з'єднали між собою газовим зварюванням.

Стойка магнітна МВ-В призначена для кріплення ванни та її переміщення по висоті при зануренні підшипників кочення в полімерний розчин (рисунок 3.3).

# НУБІП України

Кріпиться стійка МВ-В магнітом до основи супорта токарно-гвинторізного верстата ІК62.

Центрувальна збірна оправка служить для центрування та збирання підшипників (рисунок 3.4).



Рис. 3.2. Лабораторна установка для нанесення полімерних покриттів.



Рис. 3.3. Стійка магнітна МВ-В



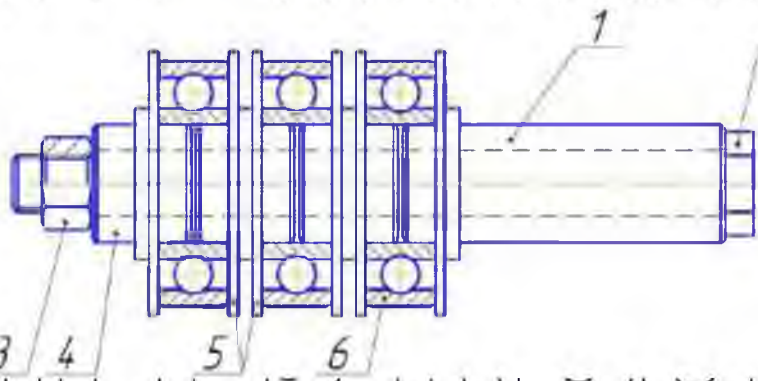


Рис. 3.4. Центрувальна збирна оправка: 1 - вал; 2 - болт стяжний; 3 - гайка

підтискна; 4 - валик центрувальний; 5 - шайба притискна; 6 - підшипник.

У зібраному вигляді вона вставляється в патрон токарного верстата, який обертає її при нанесенні полімерного покриття. Оправка складається з порожнистого валу 1 хвостовик, якого кріпиться в патроні токарного верстата, болта стяжного 2, який вставляється в отвори валу, підтискної гайки 3, що стягує три центрувальних валика 4 на валу. Ліва і права крайні ступені центрувального валу входять по перехідній посадці у внутрішні кільця суміжних підшипників на половину ширини посадкового місця, забезпечуючи цим центрування підшипників.

Токарно-гвинторізний верстат 1К62 оснащений перетворювачем частоти загальнопромислового застосування EI-7011 компанії ВЕСПЕР. Модернізація приводу дозволяє регулювати частоту обертання шпинделя від 0 хв<sup>-1</sup>.

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

Центрувальну збирну оправку з трьома підшипниками вставляли в патрон токарного верстата і вк. почали обертання із заданою швидкістю. Потім наливали у ванну до позначки рівня розчин еластомеру необхідної в'язкості. Для експерименту використовували розчини еластомеру Ф-40С різної в'язкості:  $\nu = 3157, 329$  та  $160$  мм<sup>2</sup>/с.

Кількість оборотів підшипників у ванночці з полімерним розчином становило  $N_{об} = 1; 2; 3; 4; 5$  і  $6$ . Через задану кількість обертів підшипників у ванночці з полімерним розчином, ванну опускали і продовжували обертання

протягом 10 хв при температурі 23°C. Наприкінці обертання шпинделя припиняли, центральну оправку з підшипниками виймали з патрона і розбирали.

Термічну обробку зразків при температурі  $T = 180^\circ\text{C}$  протягом  $t = 3$  години проводили в сушильній шафі СНОЛ-3.5,3.5,3.5/3, яка оснащена електронним терморегулятором (рисунк 3.5). Після термічної обробки підшипники з полімерним покриттям витримували протягом 24 год при температурі 23°C, після чого в триразовій повторності важільною скобою СР-100 (ГОСТ Ч 098-75) з щільною розподілу 0,002 мм вимірювали діаметр, розраховували товщину полімерного покриття та її середнє значення. Значення усадки  $U$  визначали за формулою (3.1).

Для розрахунку овальності вимірювали діаметр у взаємно перпендикулярних площинах. Для розрахунку конусності вимірювали діаметр підшипника на початку та в кінці полімерного покриття по ширині. Повторність вимірювань триразова із усередненням значень.

Зусилля відшаровування полімерного покриття від металевої підкладки визначали на розривній машині ІР 5047-50.



Рис. 3.5. Сушильна шафа СНОЛ-3.5,3.5,3.5/3 та підшипники з полімерним покриттям після термічної обробки

Показник міцності  $F$  зв'язку покриття та металевої підкладки розраховували за формулою

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

де  $P$  - зусилля відшаровування полімерного покриття від металевої підкладки, Н;  
 $b$  - ширина полімерного покриття.

### 3.4 Методика дослідження та визначення оптимального кута різання еластомеру Ф-40С

Підшипники з полімерним покриттям збирали в центрувальній оправці для механічної обробки покриттів (рисунок 3.6). У ході експерименту обробку покриттів із еластомеру Ф-40С вели різцями зі значенням переднього кута  $\gamma = 10; 15$  та  $20^\circ$ . Глибина різання становила  $t = 0,2$  мм, подача  $S = 0,02$  мм/об. Так як швидкість різання не значно впливає значення сил різання, обробку вели на максимальній частоті обертання шпинделя токарного верстата 1К62  $n = 2000$  хв<sup>-1</sup>.

У ході різання визначали значення радіальної складової сили різання  $P_y$ , а після її завершення шорсткість обробленої поверхні  $R_a$ .

Для вимірювання радіальної складової сили різання  $P_y$  розробили конструктивну схему (рисунок 3.7) і виготовили по ній лабораторну установку. Перед точінням, переміщуючи стійку 9, створювали натяг на різець ВК-8. Значення переднатягу складало 5 Н. Його фіксували вагами марки ВБ-10, фірми Хозленд. Найбільша межа зважування 10 кг, ціна поділки 0,1 кг. Переміщення різця вперед під дією переднатягу обмежується тримачем різця, який упирається в певному положенні буртом у направляючий торець різця.

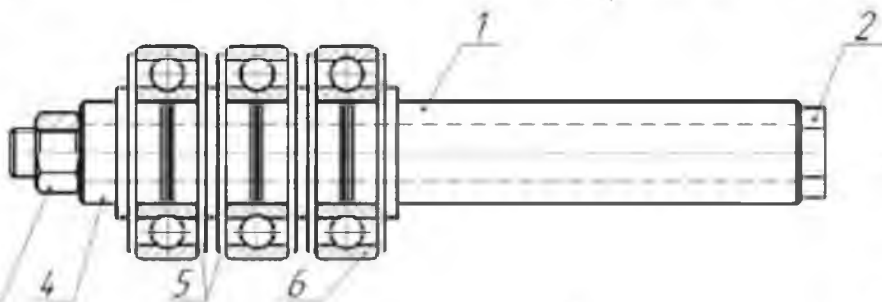


Рис. 3.6. Центрувальна збірна оправка: 1 - вал; 2 - болт стяжний; 3 - гайка підтискна; 4 - валик центрувальний; 5 - шайба притискна; 6 – підшипник.

При ковзанні різця 2 в напрямній 3 виникає сила тертя, яка вносить похибку в результати вимірювання  $P_y$ . Для її зниження стінки різця змащували індустріальним маслом И-20А (ГОСТ 20799-88). Силу тертя при ковзанні різця в напрямній вимірювали в такий спосіб. Приєднували до тримача різця 4 ваги 8 і вимірювали зусилля, при якому різець починав рух. Вимірювання проводили у п'ятикратній повторності.

В ході точіння різець разом з тримачем під дією радіальної складової сили різання  $P_y$  переміщається назад і тисне на коромисло-6. Останнє у свою чергу впливає на ваги, які фіксують значення радіальної складової сили різання  $P_y$ .

Вимірювання сили різання  $P_y$  при кожному значенні переднього кута різця проводили п'ятикратної повторності. На малюнку 3.8 показано загальний вигляд лабораторної установки для дослідження радіальної складової сили різання  $P_y$ .

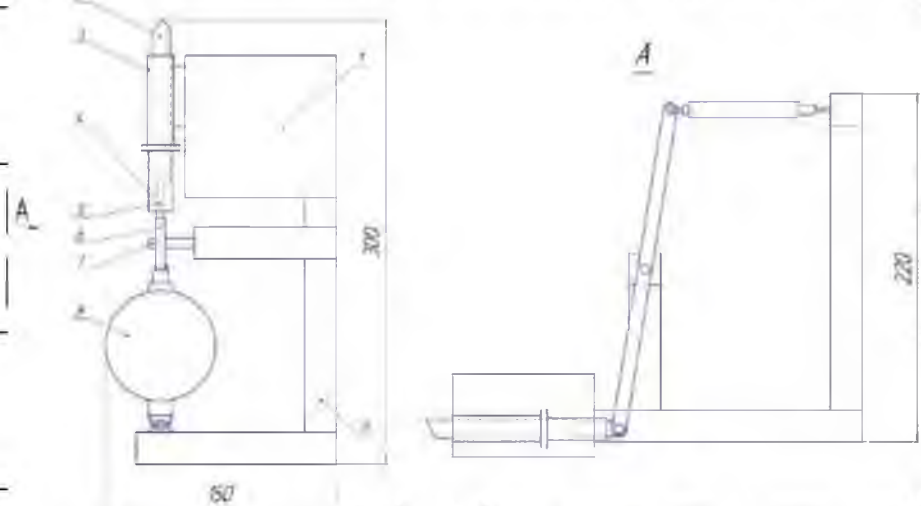


Рис. 3.7. Принципова схема лабораторної установки для вимірювання радіальної складової сили різання  $P_y$ : 1 - різетримач верстата; 2 - різець; 3 - напрямна різця; 4 - тримач різця; 5 - шток; 6 - коромисло; 7 - вісь коромисла; 8 - ваги ВБ-10; 9 – стійка.



Рис. 3.8. Лабораторна установка для вимірювання радіальної складової сили різання  $P_y$

Шорсткість обробленої поверхні визначали, використовуюючи подвійний мікроскоп Лінника типу МІС-11.

# НУБІП України

Метод світлового перерізу полягає в наступному: пучок світлових променів, що надходять від джерела світла через вузьку щілину 3 (рисунк 3.9) шириною близько 0,1 мм, прямує об'єктивом 2 під кутом  $\alpha$  на контрольовану поверхню 1.

Відбиваючись від цієї поверхні, промені через об'єктив 5 переносять зображення щілини в площину фокусу окуляра 6. Якщо контрольована поверхня є ідеально рівною, то в окулярі щілина матиме вигляд прямої лінії, що світиться (звичайно зеленого кольору). Якщо на поверхні є канавка, то в площині окуляра спостерігається викривлена лінія, що світиться (рисунк 3.9).

При глибині канавки, що дорівнює  $H$ , її світловий переріз

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

Розмір світлового перерізу канавки у площині об'єктива

$$b_1 = bV^x,$$

де  $V^x$  - збільшення об'єктива мікроскопа.

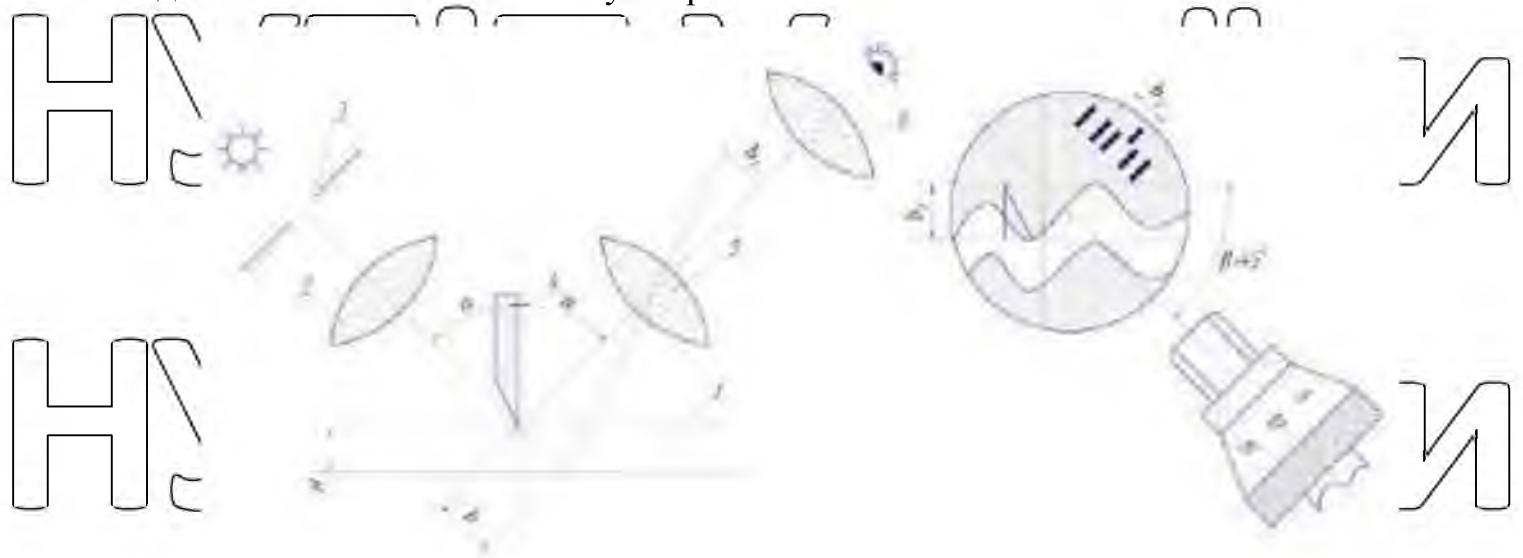


Рис. 3.9. Схема визначення висоти микронеровностей методом світлового

# НУБІП України

перерізу  
Вимірювання  $b_1$  здійснюється за допомогою окулярного мікрметра, перехрестя якого переміщується на кут  $\beta = 45^\circ$  і при цьому оцінюється  $b_2$ .

Якщо пучок світлових променів направити контрольну поверхню під кутом

$\alpha = 45^\circ$ , то

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

# НУБІП України

# НУБІП України

звідки

$$H = \frac{b_2}{(2 \cdot V^x)^4}$$

Даний спосіб дозволяє вимірювати нерівності поверхні висотою від 0,8 до 63 мкм, що є оптимальним для наших досліджень.

## 3.5 Методика дослідження впливу режимів різання на шорсткість полімерного покриття

В ході експериментальних досліджень обробку покриттів з еластомеру Ф-40С вели різцем ВК-8 з оптимальним значенням переднього кута  $\gamma = 15^\circ$ , заднього кута  $\alpha = 25^\circ$ ; головного кута в плані  $\phi = 45^\circ$ ; допоміжного кута  $\phi_1 = 15^\circ$ ; радіусу при вершині різця  $r = 0,5$  мм. Глибина різання становила  $t = 0,2$  мм, подача  $S = 0,02$ ;  $0,05$  та  $0,08$  мм/об, частота обертання шпинделя токарного верстата 1К62  $n = 1000$ ;  $1500$  та  $2000$  хв<sup>-1</sup>.

Шорсткість обробленої поверхні полімерних покриттів визначали мікроскопом Лінника. Визначення овальності та конусності покриттів здійснювали важільною скобою СР-100 (ГОСТ 11098-75) за методикою, описаною в розділі 3.3

## 3.6 Методика дослідження довговічності посадок підшипників у корпусних деталях, відновлених еластомером Ф-40С

Ресурс посадок підшипників 209 в корпусних деталях, відновлених еластомером Ф-40С, досліджували на стенді (рисунок 3.10), який призначений для динамічного навантаження підшипникових вузлів. Циклічне навантаження на підшипникові вузли створює електромеханічний вібратор марки ИВ-107А, який за конструкцією є асинхронним короткозамкненим електродвигуном. Коливання з навантаженням створюють дисбаланси, встановлені на передній та задній ступенях валу вібратора. Дисбаланси здвоєні та розводять їх на різні фіксовані кути

можна змінювати циклічне навантаження на підшипниковий вузол у діапазоні:

9,9; 15,8 та 20,0 кН.



Рис. 3.10 Стенд для випробувань підшипникових вузлів під час циклічного навантаження

Вібратор змонтований за допомогою чотирьох болтів на верхню металеву основу, яка являє собою дві металеві плити однакового розміру 500x500x25 мм, масою в 50 кг кожна.

До нижньої плити приварені чотири посадкові втулки для гвинтових пружин, що гасять коливання вібратора. Протилежні кінці демпфуючих пружин встановлені в чотири втулки, які приварені до нижньої металевої основи розмірами 500x500x10 мм. Висота пружин складає 121 мм.

Завдяки демпфуючим пружинам амплітуда коливань вібратора з верхньою основою не перевищує 1,4 мм. Дисбаланси створювали циклічне радіальне навантаження  $P = 20 \text{ кН}$  із частотою  $f = 3000 \text{ хв}^{-1}$ . Напрямок в циклах навантаження фіксував лічильник, з'єднаний з валом вібратора.

У розточені підшипникові щити вібратора запресовані чавунні втулки з матеріалу СЧ-20 (ГОСТ 1412-80). Внутрішні отвори чавунних втулок розточені для імітації зношування посадки. Підшипники з різною товщиною полімерних покриттів для випробувань запресовували в посадкові отвори вібростенда. Змащення підшипників у ході випробувань проводили пластичним мастилом ВНИИНП-242 (ГОСТ 20241-74).

Випробування відновлених посадок підшипників припиняли при порушенні посадки, яке відзначали по зсуву зовнішнього кільця підшипника щодо отвору втулки.

#### 4.1 Дослідження усадки еластомеру Ф-40С

Усадка полімерного матеріалу відіграє істотну роль у формуванні розмірів полімерного покриття після затвердіння. Тому на початковому етапі досліджень вивчали усадку полімерних покриттів, нанесених з розчинів еластомеру Ф-40С різної в'язкості. На рисунку 4.1 показана усадка  $U$  полімерних покриттів, нанесених з розчинів еластомеру Ф-40С різної в'язкості.

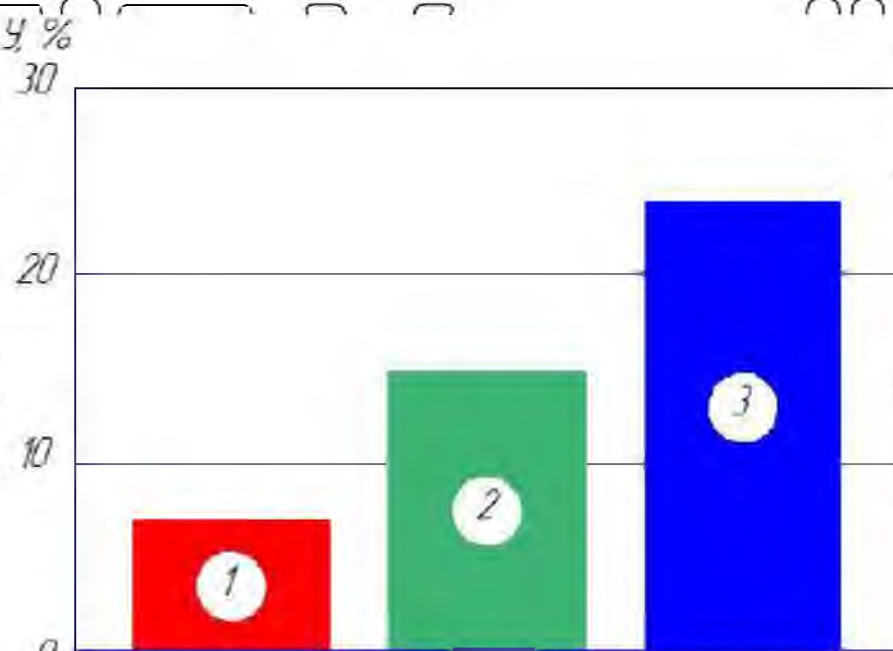


Рис. 4.1. Усадка  $U$  полімерних покриттів, нанесених із розчинів еластомеру Ф-40С різної в'язкості: 1 - при в'язкості  $\nu = 3157$ ; 2 - при в'язкості  $\nu = 329$ ; 3 - при в'язкості  $\nu = 160 \text{ mm}^2/\text{c}$ .

Як видно з рисунка 4.1 мінімальну усадку  $U = 7\%$  має покриття, нанесене з розчину еластомеру Ф-40С в'язкістю  $\nu = 3157 \text{ mm}^2/\text{c}$ . З зменшенням в'язкості до  $\nu = 329 \text{ mm}^2/\text{c}$  усадка полімерного покриття після затвердіння збільшується в 2,14 рази і становить  $U = 15\%$ . Максимальне значення усадки  $U = 24\%$  має полімерне покриття, нанесене з розчину еластомеру Ф-40С в'язкістю  $\nu = 160 \text{ mm}^2/\text{c}$ . Це в 1,6 та 3,43 рази більше порівняно з усадкою полімерних покриттів, нанесених з розчину еластомеру Ф-40С в'язкістю  $\nu = 329$  та  $3157 \text{ mm}^2/\text{c}$ , відповідно. В'язкість розчину еластомеру Ф-40С визначається концентрацією ацетону. При максимальній



в'язкості розчину еластомеру Ф-40С  $\approx 3157 \text{ мм}^2/\text{с}$  у розчині міститься мінімальна кількість ацетону, яка повинна випаруватися.

Тому усадка полімерного матеріалу після затвердіння має мінімальне значення. Відповідно в розчині еластомеру Ф-40С в'язкістю  $\nu = 160 \text{ мм}^2/\text{с}$  концентрація ацетону максимальна і тому його полімерне покриття після затвердіння має найбільше значення усадки.

### **Висновок**

З зменшенням в'язкості розчину еластомеру Ф-40С усадка полімерного покриття після затвердіння збільшується до 3,43 рази, що пояснюється великою кількістю ацетону, що випаровується, з розчину.

### **4.2 Дослідження параметрів режиму занурення деталей в розчин еластомеру Ф-40С**

На наступному етапі експериментальних досліджень вивчали, як змінюється товщина полімерного покриття зі збільшенням кількості обертів підшипника у ванні з розчином еластомеру Ф-40С різної в'язкості. З рисунка 4.2 випливає, що зі збільшенням кількості обертів підшипника до  $N_{об} = 3$  у ванні з полімерним розчином в'язкістю  $\nu = 160 \text{ мм}^2/\text{с}$  товщина полімерного покриття  $h_{п}$  зростає. При  $N_{об} = 1$  товщина полімерного покриття становить  $h_{п} = 0,05 \text{ мм}$ . Після двох обертів підшипника товщина полімерного покриття збільшується в 1,6 рази і становить  $h_{п} = 0,08 \text{ мм}$ . При  $N_{об} = 3$  товщина полімерного покриття становить  $h_{п} = 0,13 \text{ мм}$ . Це в 1,6 і 2,6 рази більше в порівнянні з товщиною полімерних покриттів, отриманих  $N_{об} = 2$  і 1, відповідно. При кількості обертів підшипника понад три товщина полімерного покриття стабілізується. Тому у ванні з полімерним розчином в'язкістю  $\nu = 160 \text{ мм}^2/\text{с}$  підшипник обертати більше трьох обертів нецільно.

# НУБІП України

# НУБІП України

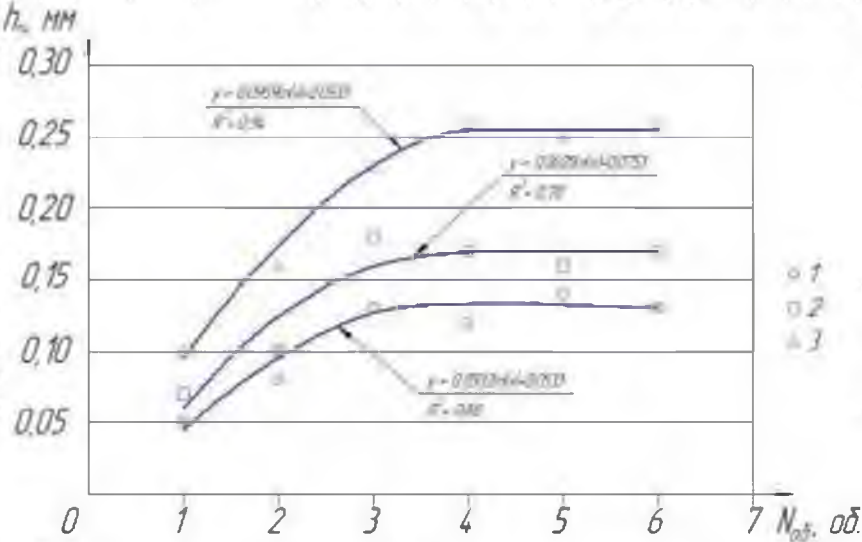


Рис. 4.2. Залежність товщини полімерного покриття  $h_{п}$  від кількості обертів  $N_{об}$  підшипника у ванні з розчином еластомеру Ф-40С різної в'язкості.

1 - при в'язкості  $\nu = 160$ ; 2 - при в'язкості  $\nu = 329$ ; 3 - при в'язкості  $\nu = 3157$  мм<sup>2</sup>/с

# НУБІП України

Товщина полімерного покриття після занурення підшипника в розчин еластомеру Ф-40С в'язкістю  $\nu = 329$  мм<sup>2</sup>/с і обертання  $N_{об} = 1$  склала  $h_{п} = 0,07$  мм. Після двох обертів підшипника товщина полімерного покриття збільшилася в 1,4 рази і становила  $h_{п} = 0,10$  мм. При  $N_{об} = 3$  товщина полімерного покриття склала  $h_{п} = 0,18$  мм. Це в 1,8 та 2,57 рази більше порівняно з товщиною полімерних покриттів, отриманих при  $N_{об} = 2$  та 1, відповідно. При кількості обертів підшипника понад три товщина полімерного покриття стабілізувала свої значення. Тому у ванні з полімерним розчином в'язкістю  $\nu = 329$  мм<sup>2</sup>/с підшипник слід обертати протягом трьох обертів.

# НУБІП України

Аналогічна залежність спостерігається при обертанні підшипника у ванні з розчином еластомеру Ф-40С в'язкістю  $\nu = 3157$  мм<sup>2</sup>/с. При  $N_{об} = 1$  товщина полімерного покриття складає  $h_{п} = 0,10$  мм. Після двох обертів підшипника товщина полімерного покриття збільшується в 1,6 рази і становить  $h_{п} = 0,16$  мм. При  $N_{об} = 3$  товщина полімерного покриття становить  $h_{п} = 0,23$  мм. Це в 1,43 та 2,3 рази більше порівняно з товщиною полімерних покриттів, отриманих при  $N_{об} = 2$  та 1, відповідно. Товщина полімерного покриття стабілізує свої значення ( $h_{п} = 0,26$  мм) за кількості обертів підшипника у ванні більше чотирьох. Тому у ванні з

# НУБІП України

# НУБІП України

полімерним розчином вязкістю  $v = 3157 \text{ мм}^2/\text{с}$  підшипник обертали більше чотирьох обертів нецільно.

## Висновок

Кількість оборотів підшипника, що рекомендується, у ванні з розчином еластомеру Ф-40С  $n = 3 \dots 4$  оберти, так як при цьому товщина полімерного покриття стабілізує свої значення.

## 4.3 Дослідження процесу механічної обробки полімерних покриттів

Як згадувалося раніше, критичний передній кут  $\gamma$  є оптимальним переднім кутом ріжучого інструменту, зважаючи на те, що напрямок рівнодіючої сили різання за такому куті збігається з напрямом різання. Внаслідок цього деформація оброблюваного матеріалу мінімальна. Точіння пластмас з критичним переднім кутом забезпечує кращі показники точності розмірів і шорсткості обробленої поверхні. Мета експерименту – визначення критичного переднього кута  $\gamma$  для різців марки ВК-8, що забезпечить при точінні покриття з еластомеру Ф-40С оптимальну точність обробки.

### 4.3.1 Дослідження та визначення оптимального кута різання еластомеру

#### Ф-40С

В ході експерименту обробку покриттів із еластомеру Ф-40С проводили різцями зі значенням переднього кута  $\gamma = 10, 15$  та  $20^\circ$ . Глибина різання становила  $t = 0,2 \text{ мм}$ , подача  $S = 0,02 \text{ мм/об}$ . Так як швидкість різання не значно впливає на значення сил різання, обробку проводили на максимальній частоті обертання шпинделя верстата  $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ . У ході різання визначали значення радіальної складової сили різання  $P_r$ , а після її завершення шорсткість обробленої поверхні  $R_a$ . Результати експерименту показані на рисунках 4.3 та 4.4.

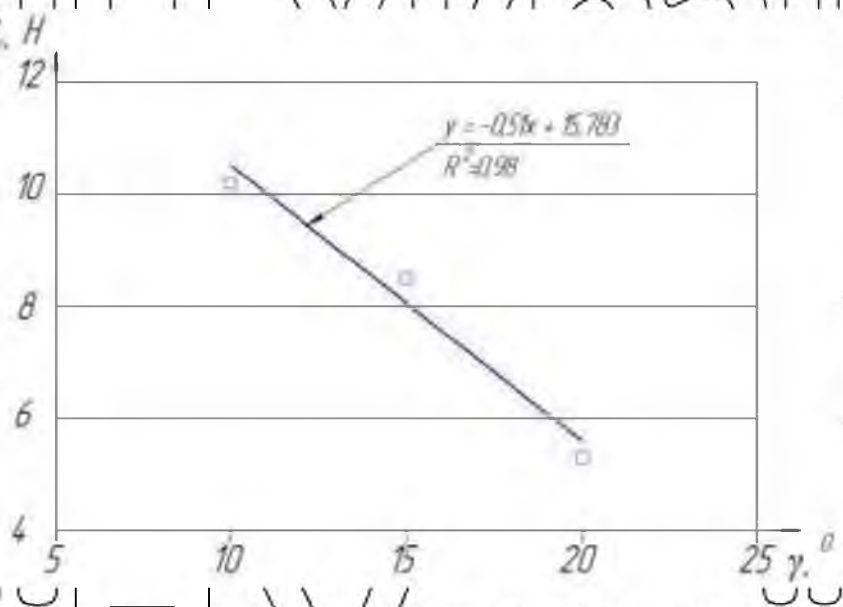


Рис. 4.3. Залежність зусилля різання  $P_y$  від переднього кута  $\gamma$ .

Як впливає з рисунку 4.3 зі збільшенням переднього кута  $\gamma$  зусилля різання зменшується  $P_y$ . При збільшенні переднього кута від 10 до 15 $^\circ$ , зусилля різання  $P_y$  зменшилося з 10,2 до 8,5 Н. Зменшення склало 16,7%.

Подальше збільшення переднього кута  $\gamma$  до 20 $^\circ$  призводить до зменшення зусилля різання до  $P_y = 5,3$  Н. Порівняно з передніми кутами 10 і 15 $^\circ$ , зусилля різання  $P_y$  зменшилося на 48 та 37,6% відповідно.

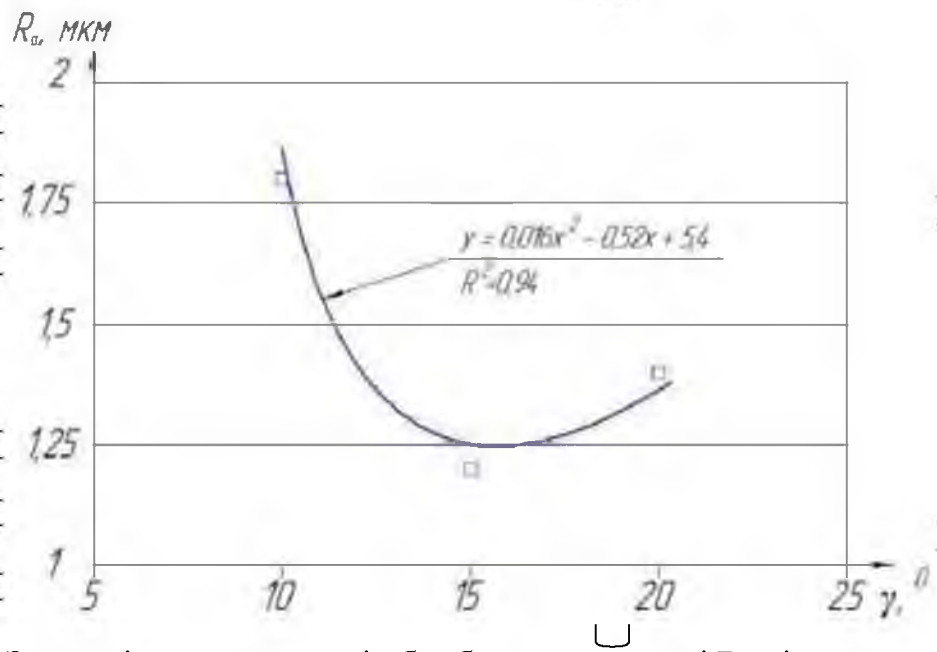


Рис. 4.4. Залежність шорсткості обробленої поверхні  $R_a$  від переднього кута  $\gamma$ .

Деяка інша залежність має місце на рисунку 4.4. При збільшенні переднього кута  $\gamma$  від 10 до 15 $^\circ$ , шорсткість обробленої поверхні  $R_a$  зменшилася з 1,8 до 1,2 мкм. Зменшення становило 50%. Подальше збільшення переднього кута  $\gamma$  до 20 $^\circ$

призводить до зростання шорсткості до  $R_a = 1,4$  мкм. Порівняно з переднім кутом  $\gamma = 15^\circ$ , шорсткість  $R_a$  збільшилася на 16 %.

### Висновок

Зі збільшенням переднього кута  $\gamma$  різця ВК-8 від  $10$  до  $20^\circ$  зусилля різання  $P_y$  зменшується на 48 %, проте при цьому шорсткість обробленої поверхні змінюється за нелінійною залежністю з екстремумом у вигляді мінімуму  $R_a = 1,2$  мкм при значенні  $\gamma = 15^\circ$ . Тому оптимальним значенням переднього кута різця ВК-8 приймаємо  $\gamma = 15^\circ$ .

### 4.3.2 Дослідження впливу режимів різання на шорсткість полімерного покриття

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

На рисунку 4.5 показано полімерне покриття після обробки різцем ВК-8 при частоті обертання  $n = 2000$  хв<sup>-1</sup> та подачі  $S = 0,08$  мм/об.



Рис. 4.5. Полімерне покриття з еластомеру Ф-40С після обробки різцем ВК-8 при частоті обертання  $n = 2000$  хв<sup>-1</sup> та подачі  $S = 0,08$  мм/об.

На рисунках 4.6 та 4.7 показано полімерне покриття після обробки різцем ВК-8 при частоті обертання  $n = 2000$  хв<sup>-1</sup> та подачах  $S = 0,05$  та  $0,02$  мм/об відповідно.



Рис. 4.6. Полімерне покриття з еластомеру Ф-40С після обробки різцем ВК-8 при частоті обертання  $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$  і подачі  $S = 0,05 \text{ мм/об}$ .



Рисунок 4.7. Полімерне покриття з еластомеру Ф-40С після обробки різцем ВК-8 при частоті обертання  $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$  і подачі  $S = 0,02 \text{ мм/об}$

На рисунку 4.8 представлена залежність шорсткості обробленої поверхні  $R_a$  від подачі  $S$ . Як випливає із зовнішнього вигляду оброблених полімерних покриттів (рисунки 4.5...4.7) та рисунка 4.8 зі збільшенням подачі шорсткість обробленої поверхні зростає. При подачі  $S = 0,02 \text{ мм/об}$  шорсткість обробленої поверхні полімерного покриття Ф-40С мінімальна і становить  $R_a = 1,2 \text{ мкм}$ . Зі збільшенням подачі до  $S = 0,05 \text{ мм/об}$  шорсткість обробленої поверхні полімерного покриття Ф-40С зростає 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 Ф-40С максимальна і

становить  $R_a = 2,1$  мкм. Збільшення шорсткості в 1,31 та 1,75 рази порівняно з шорсткістю поверхні полімерних покриттів, оброблених при подачах  $S = 0,05$  та  $0,02$  мм/об відповідно.

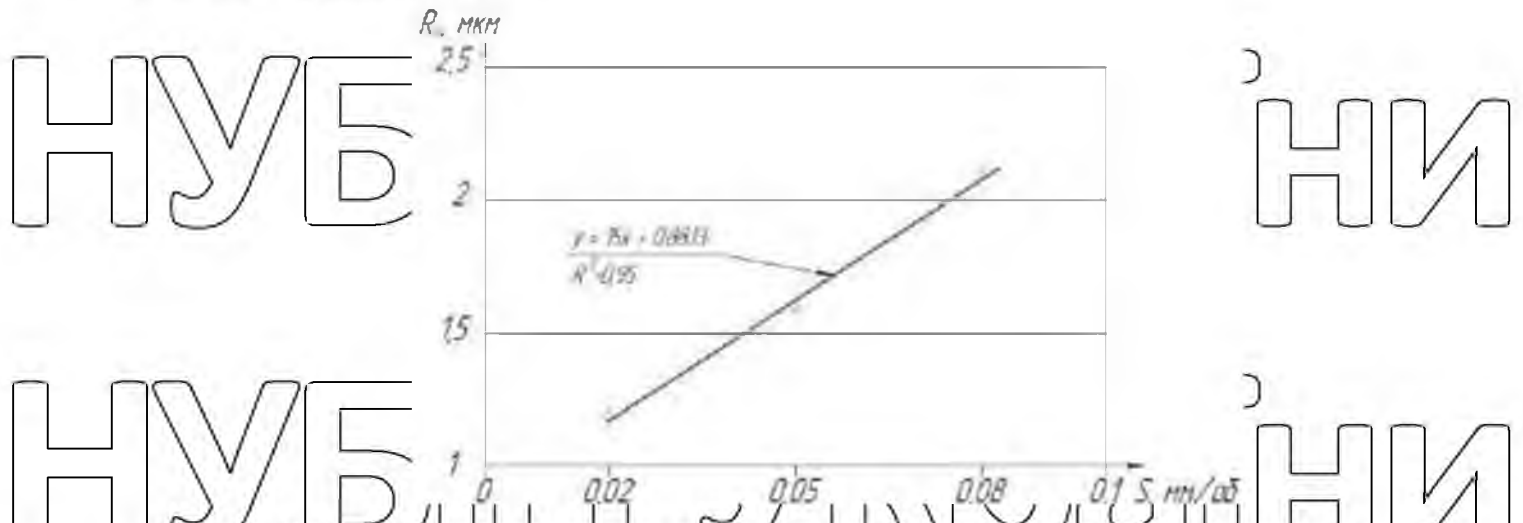


Рис. 4.8. Залежність шорсткості обробленої поверхні  $R_a$  від подачі  $S$ .

Так як вплив глибини різання на шорсткість обробленої поверхні не значний, її набули постійної  $t = 0,2$  мм.

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

Результати досліджень наведено на рисунках 4.9, 4.10 та 4.11.

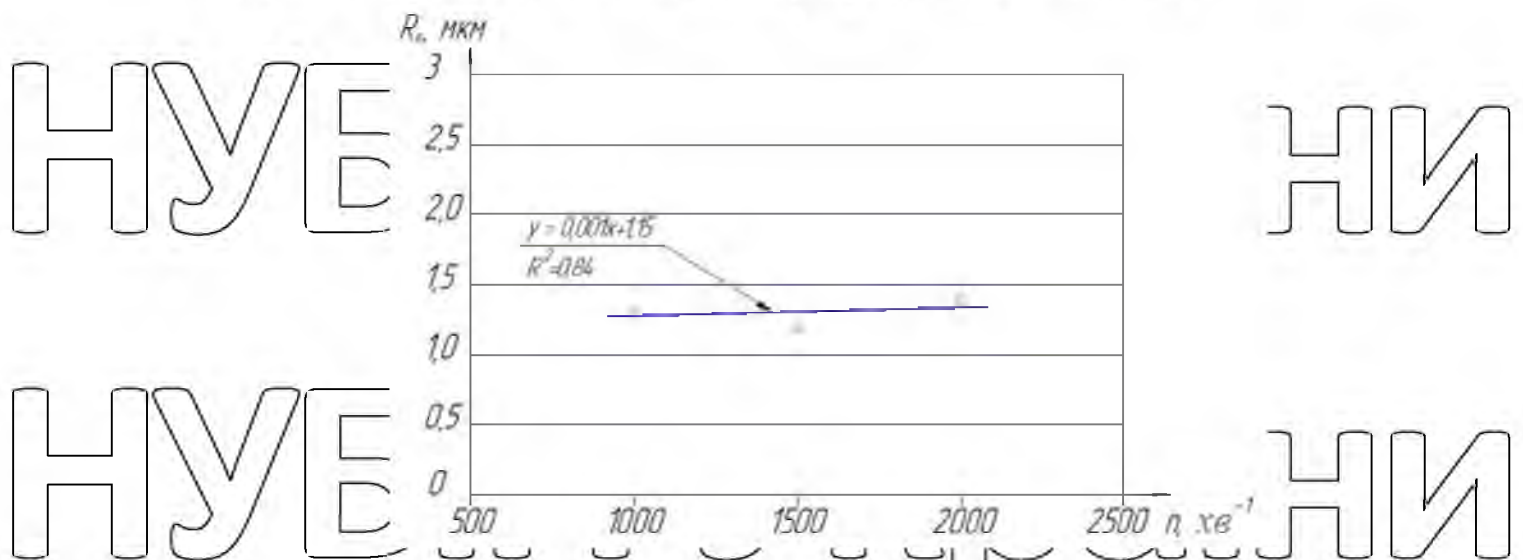


Рис. 4.8. Залежність шорсткості обробленої поверхні  $R_a$  від частоти обертання шпинделя верстата  $n$

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

# НУБІП УКРАЇНИ

Як випливає з рисунка 4.10 з підвищенням частоти обертання шпинделя верстата  $n$  від 1000 до 1500  $\text{хв}^{-1}$  овальність  $O_{\text{п}}$  обробленої поверхні покриття з еластомеру Ф-40С збільшилася на 0,001 мм. Подальше збільшення частоти обертання шпинделя верстата до  $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$  призводить до підвищення овальності до значення  $O_{\text{п}} = 0,011 \text{ мм}$ , що в 2,75 рази перевищує овальність при  $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$  і в 2,2 рази при  $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ . Збільшення овальності можна пояснити зростанням амплітуди вібрації верстата шпинделя при підвищенні його частоти обертання.

# НУБІП УКРАЇНИ

# НУБ ІНІ

# НУБ ІНІ

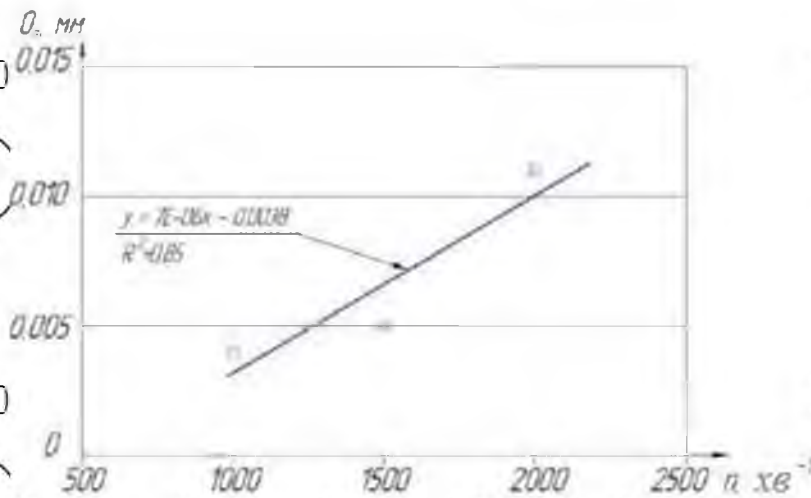


Рис. 4.10. Залежність овальності  $O_{\text{п}}$  обробленої поверхні покриття з еластомеру Ф-40С від частоти обертання шпинделя верстата  $n$

Аналогічна картина має місце на рисунку 4.11.

# НУБ ІНІ

# НУБ ІНІ

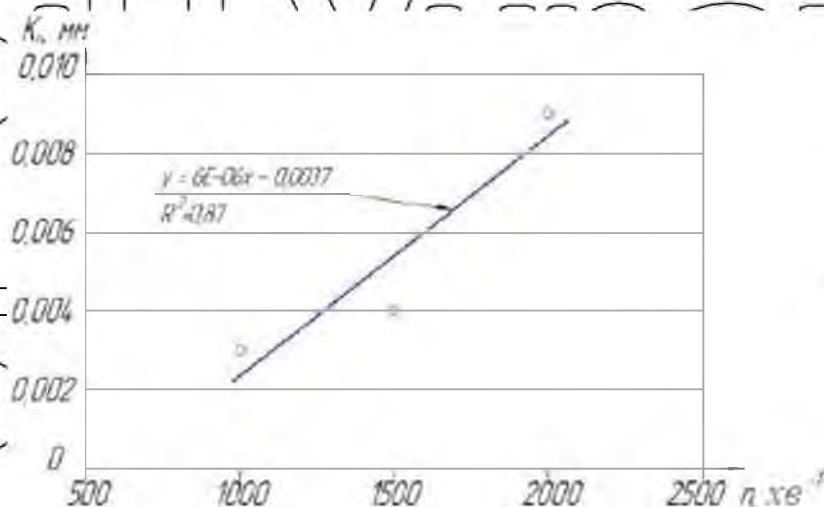


Рис. 4.11. Залежність конусності  $K_{\text{п}}$  обробленої поверхні покриття з еластомеру Ф-40С від частоти обертання шпинделя верстата  $n$

# НУБІП УКРАЇНИ

З підвищенням частоти обертання шпинделя верстата від 1000 до 1500  $\text{хв}^{-1}$  конусність  $K_{\text{п}}$  обробленої поверхні покриття з еластомеру Ф-40С збільшилася на



0,001 мм. Подальше збільшення частоти обертання шпинделя верстата до  $n = 2000$   $\text{хв}^{-1}$  призводить до підвищення конусності до значення  $K_n = 0,009$  мм, що в 3 рази перевищує овальність при  $n = 1000$   $\text{хв}^{-1}$  і в 2,25 рази при  $n = 1500$   $\text{хв}^{-1}$ . Збільшення конусності також пояснюється зростанням амплітуди вібрацій верстата шпинделя при підвищенні його частоти обертання.

Швидкість різання має найбільший вплив на знос і стійкість різців [85]. У той самий час точіння на знижених швидкостях різання зменшує продуктивність операції. Тому оптимальною швидкістю різання слід прийняти 4,1 м/с, що відповідає частоті обертання шпинделя верстата  $n = 1500$   $\text{хв}^{-1}$ .

### Висновок

Експериментальними дослідженнями визначено оптимальний режим різання полімерних покриттів еластомеру Ф-40С: глибина різання  $t = 0,2 \dots 0,3$  мм, подача  $S = 0,02$  мм/об; швидкість різання  $v = 4,1$  м/с.

### 4.4 Дослідження довговічності посадок підшипників у корпусних деталях, відновлених еластомером Ф-40С

Дослідження проводили з метою визначення довговічності та максимальної допустимої товщини полімерного покриття на підшипниках кочення при відновленні посадок підшипників корпусних деталей еластомером Ф-40С.

На рисунку 4.12 представлено довговічність посадок у щитах вібростенду підшипників 209 з різною товщиною полімерного покриття з еластомеру Ф-40С, які навантажувалися циклічним радіальним навантаженням у 20 кН. Залежність має нелінійний характер і є типовою кривою Веллера [58].

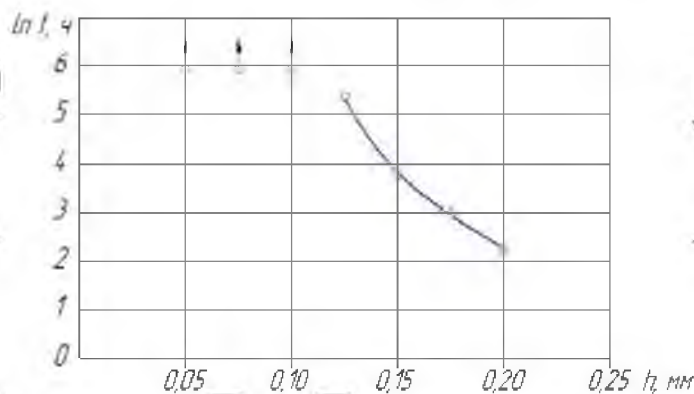


Рис. 4.12. Ресурс  $t$  посадок "корпус - підшипник 209 з полімерним покриттям" при різній товщині полімерного покриття з еластомеру Ф-40С та циклічному радіальному навантаженні 20 кН

Стрілки у точок означають, що провертання кільця підшипника в період стендових випробувань не зафіксовано. Як базу випробувань на довговічність прийняли період навантаження  $N = 5,94 \times 10^7$  циклів, що відповідає 330 год роботи стенду.

При товщині полімерного покриття 0,20 мм ресурс посадки "корпус-підшипник із полімерним покриттям" мінімальний. Зовнішнє кільце повернулось у посадковому отворі через 9 год стендових випробувань. При товщині полімерного покриття 0,175 мм ресурс посадки "корпус-підшипник з полімерним покриттям" збільшився у 2,22 рази та склав 20 год. У з'єднаннях з товщиною полімерного покриття 0,15 мм ресурс значно підвищився і становив 43 год, що перевищує ресурс спряжень з товщиною полімерного покриття  $h = 0,2$  мм у 4,8 рази, а з  $h = 0,175$  мм у 2,15 рази.

При товщині полімерного покриття 0,125 мм посадка "корпус-підшипник з полімерним покриттям" була працездатною протягом 218 год. Цей показник перевищує ресурс спряжень з товщиною полімерного покриття  $h = 0,2$  мм у 24,2 рази, з  $h = 0,175$  мм у 10,9 рази, з  $h = 0,15$  мм у 5,1 рази.

Посадка з товщиною полімерного покриття 0,1 мм залишалася працездатною до кінця випробувань. Зсув зовнішнього кільця підшипника в отворі посадковому протягом 330 год ( $e^{5.8} = 330$ ) стендових випробувань не зафіксований. Тому допустима товщина полімерного покриття з еластомеру Ф-40С на підшипнику, яка забезпечує безвідмовну роботу відновленої посадки при циклічному радіальному навантаженні 20 кН становить 0,1 мм.

### **Висновок**

Посадки підшипників у корпусних деталях, відновлені ремонтною деталлю – підшипником з полімерним покриттям із еластомеру Ф-40С мають високу довговічність. Рекомендується відновлювати зношені отвори під підшипники в корпусних деталях з діаметральним зносом до 0,2 мм.

### 5.1 Технологічні рекомендації

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень, проведених у магістерській кваліфікаційній роботі, розроблено технологію та технологічне оснащення для механізованого нанесення полімерних покриттів з розчину еластомеру Ф-40 С на підшипники кочення та подальшої механічної обробки полімерних покриттів (додаток А).

Технологія включає три операції: нанесення полімерного покриття, термічна обробка покриттів, механічна обробка покриттів.

Операція нанесення полімерного покриття включає переходи:

- 1) зачистити посадкові місця зовнішніх кілець підшипників до металевого блиску;
- 2) зібрати підшипники в центрувальному пристрою і встановити його в патрон токарного верстата;
- 3) знежирити посадкові місця зовнішніх кілець підшипників;
- 4) встановити ванну в магнітній стійці на необхідний рівень;
- 5) включити привід верстата та встановити задану швидкість обертання підшипників;
- 6) заповнити ванну розчином еластомеру Ф-40 С;
- 7) обертати підшипники три обороти, після чого опустити ванну з розчином еластомеру Ф-40 С;
- 8) обертати підшипники протягом 10 хв.
- 9) повторити переходи 4, 7 та 8 для нанесення другого, третього та четвертого шарів покриття;
- 10) зупинити верстат, вийняти і розібрати складальний центрувальний пристрій;
- 11) візуально оцінити якість нанесеного покриття.

*Операція термічної обробки включає переходи:*

- М) завантажити підшипники з полімерним покриттям в сушильну шафу СНОЛ-3.5,3.5,3.5/3;

- 2) витримати підшипники протягом 3 год. при температурі 180°C;
- 3) вийняти підшипники з полімерним покриттям із сушильної шафи.

**Операція механічної обробки включає переходи:**

- 1) зібрати підшипники в центрувальному пристосуванні та встановити його в патрон токарного верстата;
- 2) точити в чистове полімерне покриття підшипників на задану глибину різання;
- 3) зупинити верстат, вийняти і розібрати складальний центрувальний пристрій;
- 4) виміряти для контролю діаметр підшипників із полімерним покриттям.

Технологія механізованого нанесення полімерних покриттів із розчину еластомеру Ф-40С на підшипники кочення впроваджена в ТОВ «Перемога» Вишгородського району Київської області. Для оцінки надійності відновлених посадок у корпусних деталях з лютого 2019 р. до листопада 2020 р. проведено експлуатаційні випробування автотракторної техніки.

Відмов техніки в період випробувань через низький ресурс відновлених посадок в корпусних деталях не спостерігалось (додаток Б).

## 5.2 Розрахунок економічної ефективності відновлення нерухомих

з'єднань підшипників кочення еластомером Ф-40С

Собівартість відновлення еластомером Ф-40С 1 дм<sup>2</sup> посадкових місць визначали за формулою

$$C = 3П + C_M + П_r + C_{OPY} + C_{EЛ} + A_{OB}, \quad (5.1)$$

де 3П - заробітна плата виробничих робочих, грн.;

C<sub>M</sub> - витрати на матеріали, що використовуються в технологічному процесі, грн.;

П<sub>r</sub> - інші витрати на виробництво продукції, грн.;

C<sub>OPY</sub> - накладні витрати на організацію та управління виробництвом, грн.;

C<sub>EЛ</sub> - витрати на електроенергію, грн.;

A<sub>OB</sub> - амортизаційні відрахування на обладнання, грн.

Заробітну плату робітників визначали за формулою

$$3П = 3П_0 + 3П_л + Н_{OC}, \quad (5.2)$$

де ЗПо - основна заробітна плата виробничих робітників, грн;

ЗПд - додаткова заробітна плата виробничих робітників, грн;

Нсс - нарахування на соціальне страхування, грн.

Основну заробітну плату робітників визначили за формулою

$$ЗПо = T_{об} \cdot C_T \quad (5.3)$$

де  $T_{об}$  - загальна трудомісткість відновлення 1 дм<sup>2</sup> посадкових місць, год.;

$C_T$  - годинна тарифна ставка, грн./год.

Загальну трудомісткість відновлення 1 дм<sup>2</sup> посадочних місць підшипників

$T_{об}$ , як суму норми часу на нанесення 1 дм<sup>2</sup> покриття з розчину еластомеру Ф-40С, норми часу на механічну обробку (точіння) 1 дм<sup>2</sup> полімерного покриття, норми часу на шліфування 1 дм<sup>2</sup> під ремонтний розмір. Норму часу визначали методом хронометражу (таблиці 5.1, 5.2 та 5.3).

Норми часу визначали нанесенням та механічною обробкою покриття на підшипник 209, шліфуванням отвору під підшипник 209 у корпусній деталі під перший ремонтний розмір, з наступним перерахуванням на одиницю площі посадкового місця, тобто 1 дм<sup>2</sup> посадкового отвору.

На всіх операціях прийняли четвертий розряд для верстатників з годинною тарифною ставкою 75,50 грн./год. (тариф ТОВ «Перемога» Вишгородського району Київської області.).

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

Таблиця 5.1

Норма часу на нанесення покриття із розчину еластомеру Ф-40С на 1 дм<sup>2</sup>

поверхні зовнішнього кільця підшипника

№ п/п	Найменування операції	Норма часу, хв/дм <sup>2</sup>
1	Обезжирення поверхні	0,40
2	Занурення у ванні з розчином еластомера Ф-40С	0,5
3	Формування покриття	6,0
4	Контроль	0,2
	Разом:	7,1 (0,12 год/дм <sup>2</sup> )

# НУБІП України

Додаткову заробітну плату визначили за формулою

$$ЗП_{Д} = ЗП_{О} \cdot K_{Д.П.}, \quad (5.4)$$

де  $K_{Д.П.}$  - коефіцієнт додаткової оплати, рівний 10% від основної зарплати,

# НУБІП України

Норма часу на механічну обробку 1 дм<sup>2</sup> покриття з розчину еластомеру

Ф-40С

Таблиця 5.2.

№ п/п	Найменування операції	Норма часу, хв/дм <sup>2</sup>
1	Встановити оправку з підшипниками в патрон токарного верстата	0,2
2	Точити полімерне покриття на глибину 0,1 мм	0,5
3	Контроль розміру	0,2
4	Вийняти оправку з підшипниками із патрона токарного верстата	0,2
	Разом:	1,1 (0,02 год/дм <sup>2</sup> )

# НУБІП України

Норма часу на механічну обробку 1 дм<sup>2</sup> поверхні посадкового отвору

корпусної деталі

Таблиця 5.3.

№ п/п	Найменування операції	Норма часу, хв/дм <sup>2</sup>
1	Встановити корпусну деталь в центрах	0,4
2	Чорнове шліфування посадкового отвору	0,2
3	Контроль розміру	0,2
4	Чистове шліфування посадкового отвору	1,4
5	Контроль розміру	0,2
	Разом:	2,4 (0,04 год/дм <sup>2</sup> )

# НУБІП України

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

Для розрахунку нарахувань на соціальне страхування використали формулу

# НУБІП України

$$H_{CC} = \frac{(ЗП_{О} + ЗП_{Д}) K_{CC}}{100}. \quad (5.5)$$

# НУБІП України

де  $K_{CC}$  - коефіцієнт нарахувань на соціальне страхування, що дорівнює 30,2 %<sup>1</sup> від основної та додаткової зарплат робітників.

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

Заробітна плата робітників при відновленні 1 дм<sup>2</sup> посадкових місць підшипників

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

Витрати на матеріали, що використовуються при відновленні 1 дм<sup>2</sup> посадкових місць, визначали за формулою

$$C_M = C_E + C_{AC} + C_P + C_{Ш}, \quad (5.6)$$

де  $C_E$  - витрати на розчин еластомеру Ф-40С, грн.;

$C_{AC}$  - витрати на ацетон, грн.;

$C_P$  - витрати на різець, грн.;

$C_{Ш}$  - витрати на шліфувальний круг, грн.

Витрати на матеріали, що використовуються при відновленні 1 дм<sup>2</sup> посадкових місць, визначали за формулою

$$C_M = H_M \cdot Ц_M, \quad (5.7)$$

де  $H_M$  - норма витрати матеріалів на 1 дм<sup>2</sup> посадочних місць, кг/дм<sup>2</sup>;

$Ц_M$  - ціна одиниці ремонтних матеріалів, грн./кг;

Вартість матеріалів для нанесення 1 дм<sup>2</sup> покриття розчину еластомеру Ф-40С наведена в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4.

Вартість матеріалів для нанесення 1 дм<sup>2</sup> покриття з розчину еластомеру Ф-40С

№ п/п	Найменування матеріалу	Ціна, грн./кг	Витрата, кг/дм <sup>2</sup>	Вартість, грн./дм <sup>2</sup>
1	Розчин еластомера Ф-40С	410	0,005	2,05
2	Ацетон технічний	60	0,015	0,9
	Всього			2,95

Витрати на різні визначаються з виразу:

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

# НУБІП України

де  $C_p$  - ціна нового різця, грн.;

$T_{pp}$  - час проведення операції фрезерування, не враховуючи допоміжного часу, і навіть часу обслуговування робочого місця та особисті потреби, хв.;

$T_{cp}$  - стійкість різця, хв.

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

Витрати на шліфувальні круги 25A40HSM25K50 визначаються з виразу:

$$C_{ш} = \frac{C_{ш} \cdot T_{шp}}{T_{сш}}; \quad (5.9)$$

де  $C_{ш}$  - ціна нового шліфувального круга, грн.;

$T_{шp}$  - час проведення операції шліфування, без урахування допоміжного часу, і навіть часу обслуговування робочого місця та особисті потреби, хв.;

$T_{сш}$  - стійкість шліфувального круга, хв.

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

Витрати на матеріали, що використовуються при відновленні 1 дм<sup>2</sup> посадкових місць, обчислювали за формулою (5.6)

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

Інші витрати включають витрати на виробництво 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, витрати на амортизацію, електрику, оплату зв'язку, комунальні та інші платежі

$$C_{опу} = 3П_о \cdot K_{опу}, \quad (5.11)$$

де  $K_{опу}$  - коефіцієнт, що враховує витрати на організацію та управління виробництвом,  $K_{опу} = 2$ .

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



# НУБІП України<sup>3</sup>

Витрати на електроенергію становитимуть:

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

де  $W_{y1}$  і  $W_{y2}$  - встановлена потужність споживання електроенергії відповідно на нанесення покриття з наступним точінням та шліфуванням, кВт;

$T_{\text{ОП1}}$  і  $T_{\text{ОП2}}$  - час на проведення операцій відповідно на нанесення покриття з подальшим точінням та шліфуванням, що включає основний та допоміжний час, а також час обслуговування робочого місця та на особисті потреби, год.;

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

$C_{\text{Е}}$  - вартість електроенергії за 1 кВт/год:  $C_{\text{Е}} = 5,03$  грн.

$$C_{\text{ЕЛ}} = (4,5 \cdot 0,175 + 5 \cdot 0,04) \cdot 1,05 \cdot 5,03 = 4,75 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування на обладнання з розрахунку на ремонт однієї одиниці техніки становитимуть

$$A_{\text{ОБ}} = \frac{0,1 \cdot (C_{\text{Н1}}T_{\text{ОСН1}} + C_{\text{Н2}}T_{\text{ОСН2}})}{R\Phi_{\text{ВР}}}; \quad (5.13)$$

де  $C_{\text{Н1}}$  і  $C_{\text{Н2}}$  - ціна нового відповідно токарного та круглошліфувального верстата, грн.;

$T_{\text{ОСН1}}$  і  $T_{\text{ОСН2}}$  - основний час виконання операцій відповідно до точіння та шліфування, год.;

$R\Phi_{\text{ВР}}$  - розрахунковий фонд часу, год.

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

Повну собівартість відновлення 1 дм<sup>2</sup> посадочних місць підшипників у деталях еластомером Ф-40С обчислювали за формулою (5.1)

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

Річні витрати на відновлення посадкових місць підшипників на валах та в корпусних деталях автомобілів, тракторів, комбайнів та с.г. машин визначили за формулою

$$З_{\text{П}} = N \cdot C_{\text{П}} \quad (5.14)$$

# НУБІП України

де  $N$  - річна програма відновлення посадкових місць підшипників,  $\text{дм}^2$ .

За даними ТОВ «Перемога» Вишгородського району Київської області в 2019 р. зношені деталі не відновлювали, а замінювали на нові. Загальна площа відновлення становила  $N = 983,6 \text{ дм}^2$ .

# НУБІП України

Загальні річні витрати на відновлення нерухомих з'єднань підшипників за новою технологією становитимуть

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

Річну економію від впровадження нової технології визначали за формулою

# НУБІП України

$$C_{\text{річ}} = Z_2 - Z_1, \quad (5.15)$$

де  $Z_2$  - річні витрати на відновлення посадкових місць підшипників за базовою технологією, грн.;

$Z_1$  - річні витрати на відновлення посадкових місць підшипників за новою технологією,  $Z_1 = 82077$  грн.

# НУБІП України

За даними ТОВ «Перемога» Вишгородського району Київської області 2019 р. річні витрати на заміну зношених деталей на нові склали  $Z_2 = 493125$  грн.

Річна економія від впровадження нової технології

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

# НУБІП України

У додатку Д представлений розрахунок собівартості відновлення 1  $\text{дм}^2$  отворів за технологією відновлення електроконтактним приварюванням сталеві стрічки.

# НУБІП України

# НУБІП України

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

Для забезпечення рівнотовщинності подімерного покриття параметри безнапінного фрикційного руху слід вибрати із співвідношення  $0,75 \leq u/a \leq 0,9$ .

2. Для механічної обробки полімерних покриттів із еластомеру Ф-40 С рекомендується різець ВК-8. Визначено оптимальні геометричні параметри різця: передній кут  $15^\circ$ ; задній кут  $25^\circ$ ; головний кут у плані  $45^\circ$ ; допоміжний кут  $15^\circ$ ; радіус при вершині різця 0,5 мм. Оптимальний режим механічної обробки покриттів із еластомеру Ф-40 С: глибина різання 0,2...0,3 мм, подача 0,02 мм/об; швидкість різання 4,1 м/с.

3 Для забезпечення високої адгезії слід наносити покриття із розчину еластомеру Ф-40 С в'язкістю  $160 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Кількість оборотів підшипника, що рекомендується, у ванні з розчином еластомеру Ф-40 С  $N_{об} = 3$  обороти. Для отримання покриття на підшипник слід нанести чотири шари з розчину еластомеру Ф-40 С. Оптимальна частота обертання підшипника 209 при якій формується покриття максимальної товщини та з мінімальними відхиленнями за розмірами –  $n = 7,5 \text{ хв}^{-1}$ .

4. Посадки підшипників з покриттям з еластомеру Ф-40 С в корпусних деталях мають високу довговічність. Рекомендується відновлювати отвори посадки в корпусних деталях з діаметральним зносом до 0,2 мм.

5. За результатами досліджень розроблено технологію механізованого нанесення покриттів із розчину еластомеру Ф-40 С на підшипники кочення. Річний економічний ефект від впровадження нової технології становив близько 410 тис грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Голубев И.Г. Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы) / Черноиванов В.И., Голубев И.Г., - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. - 376 с.
2. Современные проблемы науки и производства в агроинженерии. Учебник / Под ред. А.И. Завражнова - СПб.: Издательство «Лань», 2013. - 496 с.
3. Холов Д.Т. Повышение долговечности зубчатых передач при восстановлении их опор эластомерами / Курчаткин В.В., Холов, Д.Т. // Обеспечение надежности отремонтированной сельскохозяйственной техники. - Саранск, 1985. - С. 126 - 128.
4. Кузнецов М.М. Повышение эффективности восстановления неподвижных соединений «вал-подшипник» в узлах сельскохозяйственной техники цианакрилатным клеем ТК-200. Дис. канд. техн. наук / Кузнецов М. М. - Мичуринск, 2013. - 142 с.
5. Уотерхауз Р.Б. Фреттинг-коррозия / Уотерхауз Р.Б.; - Л.: Машиностроение. 1976 - 271 с.
6. Оноприенко В.П. Исследование влияния некоторых физико-механических и химических факторов на изнашивание металлов при фреттинг-коррозии. Дис. канд. техн. наук / Оноприенко В.П. - Киев, 1973. - 174 с.
7. Айбиндер, С.Б. Влияние полимерных покрытий на развитие фреттинг-коррозии. / Айбиндер С.Б., Жеглов О.С, Либерман Л.М. // Физико-химическая механика контактного взаимодействия и фреттинг-коррозия: Тез. докл. - Киев, 1973. -С. 143 - 144.
8. Щербина Д.А. Исследование структурно-энергетических особенностей изнашивания металлов при фреттинг-коррозии. Дис. канд. техн. наук / Щербина Д. А. - Киев, 1975. - 248 с.
9. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность): Учебник. - М.: «Изд-во МСХА», 2001. - 616 с.
10. Батищев А.Н. Пособие гальваника - ремонтника / Батищев А.Н.; -М.: Колос, 1980. - 240 с.

11. Голубев И.Г. Исследование долговечности неподвижных соединений, восстановленных железнением при ремонте сельскохозяйственной техники. Дис. канд. техн. наук / Голубев И.Г. - М., 1981, - 135 с.

12. Авдеев М.В. Технология ремонта машин и оборудования / Авдеев М.В., Воловик Е.Л., Ульман И.Е., - М.: Агропромиздат, 1986, - 247 с.

13. Тельнов Н.Ф. Ремонт машин / Тельнова Н.Ф., - М.: ВО «Агропромиздат», 1992, - 560 с.

14. Черноиванов В.И. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: Учебное пособие / Черноиванов В.И., Бледных В.В., Северный А. Э.; - Москва - Челябинск, ГОСНИТИ, ЧГАУ, 2003, - 992 с.

15. Надежность и ремонт машин: сборник статей - Орел: Изд-во ОрелГАУ, 2004, - 168 с.

16. Поляченко А.В. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники электроконтактной приваркой присадочных материалов / Поляченко А.В., Рогинский Л.Б. // Современное оборудование и технологические процессы для восстановления и упрочнения деталей машин. - М., 1988, - 35 с.

17. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей / Воловик Е.Л.; - М.: Колос, 1981, - 350 с.

18. Ли Р.И. Технологии восстановления деталей металлургических машин и оборудования: учеб. пособие для вузов / Ли Р.И., Жильцов А.П.; М-во образования и науки РФ, Липецк, гос. техн. ун-т - Липецк: Изд-во ЛПТУ, 2007, - 315 с.

19. Технология ремонта машин / Е.А. Пучин и др.; Под. ред. Е.А. Пучина. - М.: Колос, 2007, - 488 с.

20. Батищев А.Н. Монтаж, эксплуатация и ремонт технологического оборудования [Текст] / Батищев А.Н., Голубев И.Г., Курчаткин В.В.; - М.: Колос, 2007, - 424 с.

21. Зазуля А.Н. Справочник инженера по техническому сервису машин и оборудования в АПК: / под редакцией д.с.-х. наук, профессора С. М. Бунина - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003, - 604 с.

22. Ли Р.И. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники и оборудования перерабатывающих предприятий. учеб. пособие для вузов / Ли Р.И.; М-во сель, хоз-ва РФ, Мичуринск, гос. аграрн. ун-т - Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2008. - 322 с.

23. Жачкин С.Ю. Восстановление деталей машин композитным хромовым покрытием: монография / С.Ю. Жачкин. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2009. - 177 с.

24. Мельниченко, И. М. Восстановление и повышение долговечности подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники с использованием композиционных материалов и покрытий // Дис. докт. техн. наук. - Гомель, 1991. - 370 с.

25. Курчаткин В.В. Надежность и ремонт машин / Курчаткин В.В., Тельнов Н.Ф., Ачкасов К.А., Батищев А. Н. и др.; - М.: Колос, 2000, - 776 с.

26. Псарев Д.Н. Технологические аспекты нанесения полимерных покрытий на подшипники качения / Ли Р.И., Псарев Д.Н. // Научное обозрение. 2015. - № 4 - С. 71-74.

27. Икрамов В.М. Допустимые перекосы и непараллельности осей валов коробки передач // Автомобильный транспорт. - 1962 - № 1 - С. 29-32.

28. Сбор информации о надежности 150 серийных тракторов ДТ-75МВ в рядовой эксплуатации и данных о расходе запчастей на ремонтно-эксплуатационные нужды: Отчет НАТИ, арх. №5234 / НАТИ - М., 1985. - 195 с.

29. Алябьев А.Я. Духота А.И. Влияние условий виброконтактного нагружения на изнашивание титановых сплавов при фреттинг-коррозии. - Трение и износ. 1982. - Т.3 - №5. - с. 821 - 826.

30. Кричевский М.Е. Применение полимерных материалов при ремонте сельскохозяйственной техники / Кричевский М.Е.; - М.: Росагропромиздат, 1988. - 143 с.

31. Ли Р.И. Применение полимерных материалов в подшипниковых узлах при изготовлении и ремонте машин: Монография / Р.И. Ли. - Мичуринск: Изд-во МичГАУ, 2010. - 160 с.

32. Составы анаэробные уплотняющие (герметики). Клеи акриловые. Каталог. - Черкассы, 1988. - 22 с.

33. Тоиров И.Ж. Восстановление неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники анаэробными герметиками: дис. канд. техн. наук / Тоиров И.Ж. - М., 1990. - 172 с.

34. <http://instplast.ru/> - Открытое акционерное общество "Институт пластмасс имени Г.С.Петрова" г. Москва.

35. Венников В.А. Теория подобия и моделирование / Венников В.А., Венников Г.В.; - М.: Высшая школа, 1984. - 124 с.

36. Хебда М. Справочник по триботехнике: Теоретические основы / Хебда М., Чичинадзе А.В.; - М.: Машиностроение, 1989. - 400 с.

37. Хебда М. Справочник по триботехнике: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / Хебда М., Чичинадзе А.В. - М.: Машиностроение, 1990. - 416 с.

38. Михелькевич В.Г. Основы научно-технического творчества / В.Г. Михелькевич, В.М. Радомский. - Ростов на Дону: Феникс, 2004. - 320 с.

39. Ли Р.И. Основы научных исследований: учеб. пособие / Р.И. Ли. - Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2013. - 188 с.

40. Нарисава И. Прочность полимерных материалов: Пер. с япон. / Под ред. А. А. Берлина. - М.: Химия, 1987 - 398 с.

41. Штучный Б.П. Механическая обработка пластмасс: Справочник / Штучный Б. П.; - М.: Машиностроение, 1987. - 152 с.

42. Ящерицын П.И. Основы резания материалов и режущий инструмент / Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Жигалко Н.И.; - Мн.: Выш. Школа, 1981. - 560 с.

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

44. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашини и гидроприводи: Учебник для машиностр. вузов / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов; - М.: Машиностроение, 1982. - 423 с.

# НУВБІП України

45. Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем. Справочник / Под ред. А. С. Юрьева - СПб.: АЛЮНПО «Мир и семья», 2001. - 1154 с.

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

47. Справочник конструктора. Справочник. Ч. 2 / Золн И.М., Зыбкий В.В., Короткое В.М.; - Н. Новгород.: Изд-во «Вента-2», 1998. - 388 с.

48. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. - 13-е изд. исправленное. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986 - 544 с.

49. Бобров, В. Ф. Основы теории резания металлов / Бобров В.Ф.; - М.: Машиностроение, 1975. - 344 с.

50. Зайцев Б. Г. Справочник молодого токаря / Зайцев Б.Г., Шевченко А.С.; - М.: Высш. школа, 1979. - 367 с.

51. Рубинштейн С.А. Основы учения о резании металлов и режущий инструмент / Рубинштейн С.А., Левант Г.В., Орнис Н.М., Тарасевич Ю.С.; - М.: Машиностроение, 1968. - 392 с.

52. Горбунов Б.И. Обработка металлов резанием, металлорежущий инструмент и станки. Учебное пособие / Горбунов Б.И.; - М.: Машиностроение, 1981. - 287 с.

53. Вискозиметр капиллярный стеклянный типа ВКЖ-2: Паспорт. - Ярославль, 2014 г.

54. Вискозиметр капиллярный стеклянный типа ВКЖ: Паспорт. -СПб.: ООО «Экохим», 2013 г.

55. ГОСТ 21981-76 Герметики. Метод определения прочности связи с металлом при отслаивании. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 7 с.

56. ГОСТ 12423-66 Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб) - М.: Изд-во стандартов, 1989 - 6 с.

57. Вибраторы электромеханические общего назначения ИВ-98Б, ИВ-98Н, ИВ-99Б, ИВ-99Н, ИВ-99Б-П, ИВ-105-2/2, ИВ-107А, ИВ-107Н, ИВ-107А-П, ИВ-107А-1.5: Руководство по эксплуатации 2-1.005 РЭ. - Ярославль, 2003 г.

# НУВБІП України



58. Шпилько А.В. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники / Шпилько А.В., Драгайцев В.И., Тулапин П.Ф. и др.; - М.: Издательство журнала «Аграрная наука», 1998. - 127 с.

59. Типовые нормы времени на станочные, слесарные, сварочные и кузнечные работы в сельском хозяйстве. - М.: Колос, 1977. - 398 с.

60. Сергеев И. В. Экономика предприятия / Сергеев И. В.; - М.: Финансы и статистика, 2000. - 297 с.

61. Техничко-економическое обоснование инженерных решений по эксплуатации и ремонту машин / И.Н. Кравченко, Н.В. Шилина, Л.Н. Попова, С.В. Карцев Е. А. Пучин, А.М. Карев; - М.: Издательство УМЦ «Триада», 2006. - 144 с.

62. Экономика технического сервиса на предприятиях АПК / Кожкин Ю.А. и др. - М.: УМЦ «Триада», 2007. - 572 с.

63. Fretting fatigue I Ed. R.B. Waterhouse. - London: Applied science publ, 1981.-X, 244 p., ill.

64. Materials evaluation under fretting conditions: Symp. Spons. by ASTM comm. G-2 on Erosion and wear, Warminster (Pa), 3/June 1981/ Ed. S.R.

65. Fretting and materials science and technology. 1979. P. 259 - 286. Waterhouse. R.B. Fretting.

66. Hoepner D.W., Gates F.L. Fretting fatigue considerations in engineering design. «Wear», 1981, 70, - № 2. - p. 155 - 164.

67. Корнейчук Н.И. Прогрессивные способы восстановления деталей машин гальваническими и полимерными покрытиями / Н.И. Корнейчук И.В. Коляско / Труды ГОСНИТИ. Том 89. Москва - 1989, С. 77 - 85.

68. Коротан А.И. Технология нанесения гальванических покрытий / А.И. Коротан - М., Высшая школа, 1984. - 200 с.

69. Грилихес С.Л. Электролитические и химические покрытия. Теория и практика / С.Л. Грилихес, К.И. Тихонов - Л.: Химия. Ленинградское отделение, 1990. - 288 с.

70. Гурьянов Г.В. Электроосаждение износостойких композиций / Г.В. Гурьянов - Кишинев: Штиинца, 1985. - 238 с.

71. Васильев Е.К. Качественный рентгенофазовый анализ / Е.К. Васильев, М.М. Нахмансон. - Новосибирск: Наука, 1986. - 348 с.

# НУБІП України

72. Батищев А.Н. Восстановление изношенных деталей - основной путь снижения себестоимости и ресурсосбережения при ремонте машин и оборудования. [Электронный ресурс] / А.Н. Батищев // Вестник РГАЗУ. - 2008. -

часть 1. Режим доступа: <http://www.rgazu.ru/db/vestnic/2008/agroing/1.htm>

# НУБІП України

73. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов; под редакцией В.П. Иванова. - М.: Машиностроение, 2003. - 672 с.

74. Вячеславов М.П. Электролитическое осаждение сплавов / М.П. Вячеславов. - Ленинград: Машиностроение, 1977. - 96 с.

# НУБІП України

75. Вячеславов П.М. Методы испытаний электролитических покрытий / П.М. Вячеславов, Н.М. Шмелева. - Ленинград: Машиностроение, 1977. - 88 с.

76. Гальванические покрытия в машиностроении. В 2-х кн. Кн. 1 // Под ред. М.А. Шлугера. - М.: Машиностроение, 1985. - 240 с.

77. Гаркунов Д.Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин) / Д.Н. Гаркунов. - Москва. - Издательство МСХА, 2002. - 632 с.

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

НУБІП України<sup>3</sup>

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП **ДОДАТКИ** України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА

нанесення полімерного покриття з розчину еластомера Ф-40С на зовнішнє кільце підшипника 209

№ п/п	Зміст операції	Обладнання, пристосування, інструмент, матеріали	Технічні умови
1	Зачистити посадочні місця зовнішніх кілець підшипників	Верстат токарний 1К62, збірна центрувальна оправка для механічної обробки, шкурка шліфувальна Э5М1А	Обробити поверхні до металевого блиску
2	Розібрати збірну центрувальну оправку для механічної обробки. Зібрати підшипники в збірну центрувальну оправку для нанесення покриття і встановити в патрон	Верстат токарний 1К62, збірна центрувальна оправка для нанесення покриття	-
3	Обезжирити посадочні місця зовнішніх кілець підшипників	Верстат токарний 1К62, технічний ацетон ГОСТ 2768-84, тампон ватний, обмотаний марлею	Витримати на повітрі протягом 10 хв.
4	Встановити ванночку в магнітній стойці на необхідний рівень.	Ванночка, стійка магнітна МВ-В	
5	Включити привод верстата і встановити задану швидкість обертання підшипників	Верстат токарний 1К62, збірна центрувальна оправка для нанесення покриття	Частота обертання шпинделя верстата $n = 7,5 \text{ хв}^{-1}$
6	Заповнити ванночку розчином еластомера Ф-40С	Розчин еластомера Ф-40С	Кінематична в'язкість розчину $\nu = 160 \text{ мм}^2/\text{с}$
7	Обертати підшипники три оберта, після цього опустити ванночку з розчином еластомера Ф-40С	-	-
8	Формування покриття	-	Обертати підшипники протягом 10 хв.
9	Повторити переходи 4, 7 і 8 для нанесення другого, третього і четвертого шарів покриття	-	Кожен шар покриття сушити протягом 10 хв.
10	Зупинити верстат, вийняти і розібрати збірне центрувальне пристосування	-	-
11	Візуально оцінити якість нанесеного покриття	Лупа 8-10 кратного збільшення	Візуальний огляд

Продовження додатку А  
(рекомендоване)

ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА механічної обробки  
полімерного покриття  
з розчину еластомера Ф-40С на підшипник 209

№ п/п	Зміст операції	Обладнання, пристосування, інструмент, матеріали	Технічні умови
1	Зібрати підшипники в центрувальній оправці і встановити її в патрон токарного верстата	Верстат токарний 1К62, збірна центрувальна оправка для механічної обробки	—
2	Точити в чистову полімерне покриття підшипників на задану глибину різання	Верстат токарний 1К62, збірна центрувальна оправка для механічної обробки, різець 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 <sup>-1</sup> )
3	Зупинити верстат, висунити і розібрати збірну центрувальну оправку	—	—
4	Виміряти для контролю діаметр підшипників з полімерним покриттям	Мікрометр МК-100 ГОСТ 6507-78	—