

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»

Математичне моделювання формоутворення
шорсткості поверхні в залежності від фізико-
механічних властивостей матеріалу при відновленні
валу

спеціальність 131 Прикладна механіка
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМм-21
Троханенко Максим Петрович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Божко Тетяна Євгенівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«___» _____ 2024 р.
к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Луцьк – 2024 року

Луцький національний технічний університет

Факультет Транспорту та механічної інженерії
Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки
Другий (магістерський) рівень
освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»
Спеціальність 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Р. РЕДЬКО
_____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Троханенко Максима Петровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Математичне моделювання формоутворення шорсткості поверхні в залежності від фізико-механічних властивостей матеріалу при відновленні валу», керівник кваліфікаційної роботи магістра Божко Тетяна Євгенівна к.т.н., доц. каф. ПМіМ затверджені наказом вищого навчального закладу від «30» грудня 2023 р., № 452/01-02

2. Строк подання студентом роботи 1.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: звіт з переддипломної практики, технічна документація валу КС6В-47.627, креслення деталі вал КС6В-47.627, нормативні дані.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Загальна частина. 2. Технологічна частина. 3. Конструкторська частина. 4. Наукова частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Креслення ремонтне деталі вал КС6В-47.627 1л - ф.А1; Пристрій для фрезерування складальне креслення 1л - ф.А1; Пристрій для контролю складальне креслення 1л - ф.А1; Схема ТП дефектації 1л - ф.А2; Карта налагодження 2л - ф.А2.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

01.07.2024 р.

Керівник

(підпис)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1.	Загальна частина	22.10.2024	
2.	Конструкторська частина	1.11.2024	
3.	Технологічна частина	12.11.2024	
4.	Наукова частина	22.11.2024	
5.	Представлення роботи до захисту	29.11.2024	
6.	Електронний варіант кваліфікаційної роботи магістра		

Студент

(підпис)Троханенко М.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)Божко Т.Є.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Однією із причин зменшення довговічності нерухомих спряжень типу вал - підшипник є порушення нерухомості з'єднання внутрішнього кільця підшипника і шийки вала, яке відбувається за рахунок спрацювання поточних поверхонь валів. Проведені аналітичний огляд та патентні дослідження показали, що довговічність техніки, її техніко-економічні показники багато в чому визначаються довговічністю нерухомих спряжень вал-підшипник кочення. Тому підвищення довговічності підшипникових вузлів за рахунок напилення посадочних поверхонь валів, є досить актуальною задачею.

В роботі розглянуто питання закономірності зміни шорсткості поверхні в залежності від фізико-механічних властивостей матеріалу при шліфуванні напиленого матеріалу. Наведено математичну модель формоутворення мікропрофілю поверхні при шліфуванні напиленого матеріалу.

Розроблено технологічний процес відновлення валу КС6В-47.627. Спроековано пристрій для фрезерування. Спроековано пристрій для контролю співвісності.

Ключові слова: відновлення, шліфування, математична модель.

ANNOTATION

One of the reasons for reducing the durability of fixed spokes of the type of shaft bearing is the violation of the property of the connection of the inner ring of the bearing and crankshaft, which occurs mainly due to the action of the current surfaces of the shafts. The conducted analytical review and patent research have shown that the durability of technology, its technical and economic indicators are largely determined by the durability of the fixed couplings roller bearing. Therefore, increasing the longevity of bearing units due to spraying of landing surfaces of shafts is a very topical task.

The paper considers the regularity of the change of roughness of the surface depending on the physical and mechanical properties of the material when grinding the spray material. The mathematical model of formation of microprofile of a surface during grinding of spray material is given.

The technological process of restoring the shaft KC6B-47.627. The tool for milling is designed. The device for control of coherence is designed.

Key words: restoration, grinding, mathematical model.

ЗМІСТ

стр.

	Вступ.....	7
1	Загальна частина.....	10
1.1	Стан питання та постановка задач магістерської роботи.....	10
1.2	Характеристика об'єкта виробництва, службове призначення	15
1.3	Аналіз технологічності конструкції деталі.....	16
1.4	Дефектування деталі.....	20
2	Технологічна частина.....	24
2.1	Вибір та технологічне обґрунтування методів відновлення поверхонь деталі.....	24
2.2	Вибір технологічних баз.....	25
2.3	Визначення кількості переходів та операцій відновлення поверхонь.....	27
2.4	Формування маршруту технологічного процесу відновлення деталі.....	29
2.5	Розрахунок припусків	32
2.6	Розрахунок та призначення режимів нанесення покриття.....	35
2.7	Вибір та обґрунтування обладнання і джерел живлення.....	39
2.8	Нормування технологічного процесу.....	42
3	Конструкторська частина.....	45
3.1	Проектування пристрою для фрезерної операції.....	45
3.2	Пристрій для контролю відхилення від симетричності пазу..	51
4	Наукова частина.....	50
4.1	Математична модель формоутворення мікропрофіля поверхні	50
4.2	Імітаційне моделювання шліфування напиленої деталі.....	55
4.3	Алгоритм математичної моделі.....	63
	Висновки.....	65
	Список використаних джерел.....	67
	Додаток.....	69

ВСТУП

Актуальність проблеми. Відновлення деталей машин забезпечує економію високоякісного металу, енергетичних і трудових ресурсів, палива, а також охорону навколишнього середовища і раціональне використання природних ресурсів. Для відновлення працездатності зношених деталей потрібно в 5—8 разів менше технологічних операцій у порівнянні з виготовленням нових деталей.

Залежно від ступеня пошкодження і конструкції деталей затрати на їх відновлення становлять 15... 50 % вартості нових. При цьому чим дорожча і складніша деталь, тим нижча відносна вартість її відновлення. Низька вартість відновлення деталей зумовлена рядом факторів: непотрібні технологічні операції виготовлення заготовки; відновлюються тільки поверхні, на яких є недопустимі пошкодження; витрачається мало матеріалів.

Визначено, що основними чинниками спрацювання поверхонь валів нерухомих спряжень є фретинг-корозія, рухомих спряжень - абразивне спрацювання, а основним видом руйнування валів є руйнування від втомленості. Тому при відновленні валів, насамперед, необхідно забезпечити високу стійкість поверхонь проти вказаних видів спрацювання.

Проведені аналітичний огляд та патентні дослідження показали, що довговічність техніки, її техніко-економічні показники багато в чому визначаються довговічністю нерухомих спряжень вал-підшипник кочення. Тому підвищення довговічності підшипникових вузлів за рахунок напилення посадочних поверхонь валів є досить актуальною задачею.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є математичне моделювання формоутворення мікропрофілю поверхні при шліфуванні напиленого матеріалу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- шляхом аналізу літературних джерел виявити проблеми впливу фізико-механічних властивостей матеріалу на шорсткість поверхні при шліфуванні напиленого матеріалу;

- отримати залежності висотних параметрів мікрорильєфа від режимів різання, фізико-механічних властивостей матеріалу, характеристики шліфувального круга.

Об'єктом дослідження - технологічний процес відновлення валу.

Предмет дослідження – Математичне моделювання формоутворення мікропрофілю поверхні при відновленні валу КС6В-47.627.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження проводилися на основі наукових положень технології машинобудування, теорії різання матеріалів, системного аналізу, методів оптимізації. Експериментальні дослідження проводилися з використанням фізичного моделювання, сучасних методик математичного планування експерименту.

Наукова новизна. Розроблено математичну модель формоутворення мікропрофілю поверхні при шліфуванні напиленого матеріалу в залежності від режимів різання, фізико-механічних властивостей матеріалу, характеристики шліфувального круга.

Апробація роботи. Основні положення і результати роботи доповідались і обговорювались на наукових семінарах кафедри “Прикладна механіка”.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Стан питання та постановка задач магістерської роботи

Розробка математичної моделі формування мікрорельєфу поверхневого шару можлива лише з позицій розгляду теорії взаємодії ШК і заготовки, технологічних умов шліфування.

Модель формування мікрорельєфу необхідно будувати на основі взаємодії ШК і заготовки при використанні фізичних закономірностей руйнування припуску, що мають місце при обробці деталей з плазмовим напиленням, з урахуванням імовірнісного характеру процесів при шліфуванні. Це дозволить спрогнозувати параметри шорсткості поверхневого шару при шліфуванні і вибрати характеристику інструменту і режими різання.

«Тріщини, що виникають в оброблюваному матеріалі в результаті механічної обробки, утворюють тріщинуватий або дефектний шар. Глибина тріщинуватого шару від 3 до 50 разів більша, ніж значення параметра R_a » [13]. Цей шар знижує міцність деталей, може призвести до подальшого росту тріщин від статичної втоми, особливо при перепадах температур.

«Глибина поверхневого шару із зруйнованою кристалічною структурою в 3-4 рази більше глибини рисок від зерен круга» [13].

«Глибина дефектного шару взаємозв'язана з параметрами шорсткості, що виникає при механічній обробці. Чим інтенсивніше робиться процес шліфування, тобто чим вище продуктивність, тим більше параметр шорсткості R_a і глибше тріщинуватий шар» [11]. «Міцніші матеріали розтріскуються на меншу глибину, ніж менш міцні» [15]. Причина цього явища в літературі не пояснена.

«Домінуючий вплив на глибину тріщинуватого шару роблять зернистість шліфувальних кругів, механічні властивості оброблюваного матеріалу, швидкість заготовки і тиск» [13].

«При шліфуванні напилених матеріалів мають місце: мікросколювання та об'ємне пластичне деформування» [12]. Вірогідність тих або інших механізмів

руйнування припуску визначається як фізико-механічними властивостями матеріалу, так і навантаженням на зерно (режимами обробки).

«Зі збільшенням швидкості круга глибина дефектного шару зменшується, а зі збільшенням тиску на оброблювану заготовку – зростає. Вибирати інструмент, його характеристики» [8], «опустиму неурівноваженість кругів» [12] і «режими обробки» [11] слід у строгій залежності від необхідної якості поверхні виробу і характеристик заготовки.

Для визначення характеру розвитку тріщин деякі дослідники застосовували метод індентування. «Безпосередньо під індентором знаходиться зона пластичної (безповоротною) деформації. Із зони пластичної деформації виходять чотири основні типи тріщин – радіальні, медіанні (серединні), бічні (латеральні) і конічні» [13]. «Існують деякі розбіжності відносно черговості утворення тріщин, поява яких при втискуванні гострих пірамід в усіх експериментах реєструвалася датчиком акустичної емісії» [13].

«При ковзанні пірамідального індентора з'являються дві медіанні тріщини по напрямку діагоналей піраміди і бічні тріщини» [13]. Медіанні тріщини співпадають з напрямком ковзання і розвиваються попереду індентора.

«Вивченню закономірностей виникнення і росту тріщин при взаємодії з одиничним зерном геометрично певної форми присвячена також група робіт» [11, 12, 16]. «Вивчення процесів взаємодії абразиву і поверхні монокристала свідчить про існування за певних умов усіх вказаних типів тріщин не лише при втискуванні інденторів, але і при різанні реальними абразивними зернами» [15].

«На формування дефектного шару, окрім силової дії, робить вплив і тепловий потік із зони контакту. Він формує термопружну напругу в заготовці, яка може викликати ріст тріщини. Це відбувається при граничній величині теплового потоку, залежній від теплофізичних властивостей оброблюваного матеріалу (коефіцієнта теплопровідності λ), розміру дефекту, його орієнтації і розташування по глибині поверхневого шару» [14].

При шліфуванні в поверхневому шарі під дією силового і теплового полів виникає напружено-деформований стан поверхневих шарів оброблюваної заготовки, яке формує дефектний шар.

Таким чином, при формуванні поверхневого шару напиленого матеріалу під час шліфування слід враховувати характеристики круга, режими обробки і фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу. Навіть м'які режими обробки можуть призводити до утворення мікротріщин на поверхні виробу, які зменшують її механічну міцність.

До теперішнього часу в достатній мірі не досліджений процес формування дефектного шару в напиленому матеріалі при шліфуванні, залежність розподілу дефектів по розмірах від фізико-механічних властивостей і від режимів різання, їх вплив у поверхневому шарі.

«Якість поверхні обробленої деталі визначається, окрім режимів різання і початкового стану робочої поверхні круга (РПК), умовами правки круга і зміною РПК в процесі роботи. Після правки різальна здатність шліфувального круга непостійна, з часом роботи (зміною об'єму видаленого матеріалу) за пружною схемою шліфування вона знижується»[16]. Інтенсивність цього зниження неоднакова в різні періоди роботи круга.

Відразу після правки незалежно від швидкості заготовки, продуктивність шліфування найбільша. Рівень початкової продуктивності визначається підготовкою різальної поверхні круга, швидкістю різання, тиском і іншими чинниками.

У міру видалення матеріалу припуска відбувається зміна стану різальної поверхні круга. Слабоутримувані зв'язкою зерна вириваються. Зерна круга, що найбільш виступають, сприймають на себе навантаження, глибше впроваджуються в оброблюваний матеріал. Ці зерна в першу чергу руйнуються, рельєф круга вирівнюється. Глибина всадження зерен зменшується, а сила, що приходить на кожне зерно, знижується. Продуктивність інтенсивно зменшується впродовж 0,2–3 хв.

Після закінчення початкового періоду процес шліфування протікає з продуктивністю, що повільно знижується, незалежно від способу правки.

Параметри поверхневого шару виробу залежать від продуктивності процесу шліфування і стану круга. Чим вище продуктивність, тим більше параметр R_a

шорсткості і глибше тріщинуватий шар. Після правки круг формує більш високий мікрорельєф, який у міру притуплювання зерен знижується в 3–4 рази.

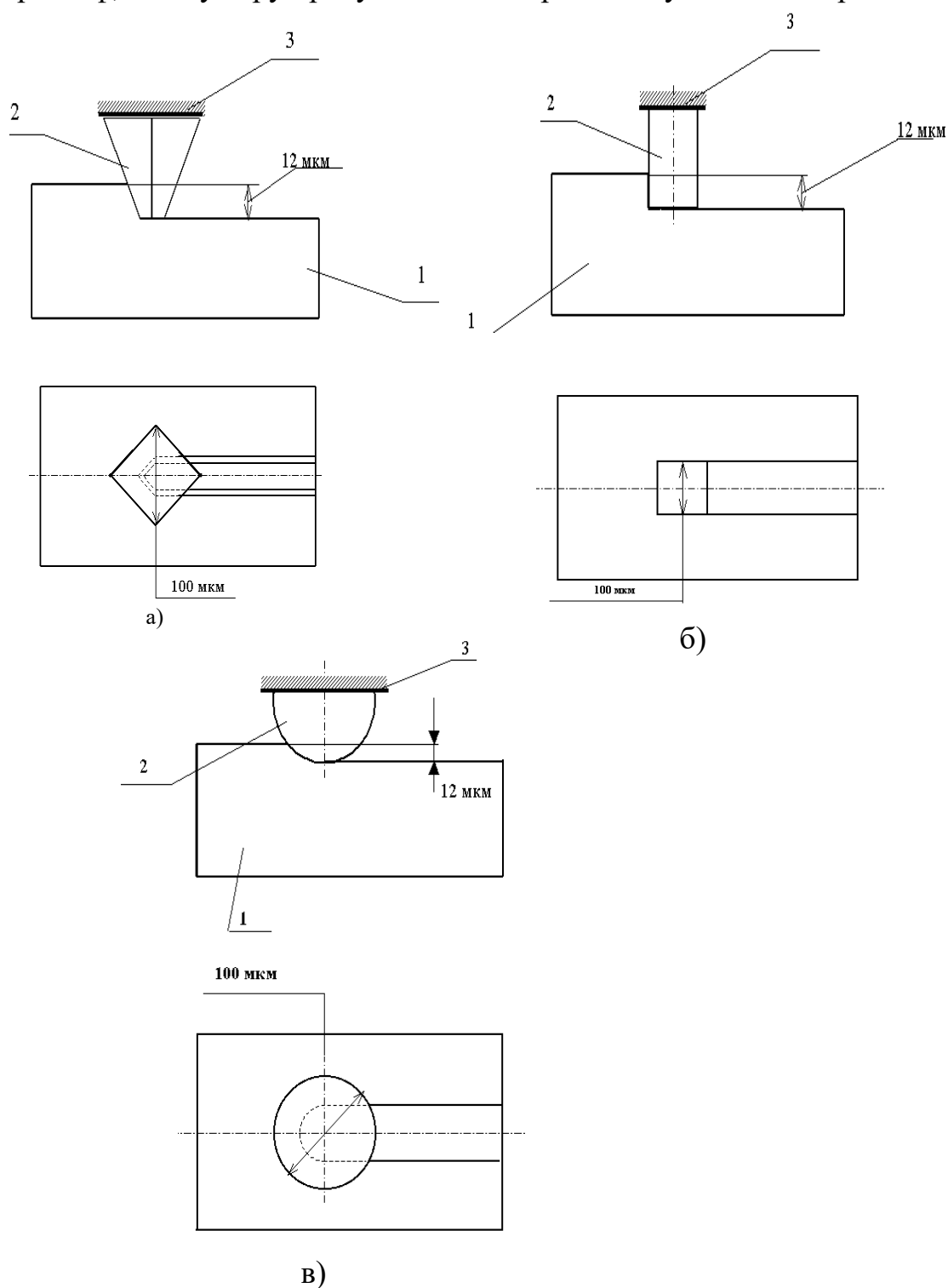


Рисунок 1.1 - Схема взаємодії з оброблюваним матеріалом зерен різної форми: а) усічена чотиригранна піраміда; б) прямокутний паралелепіпед; в) сфера. 1 – оброблюваний матеріал; 2 – зерно; 3 – зв’язка

«Шорсткість оброблюваної поверхні безпосередньо залежить від того, які механізми руйнування матеріалу припуска реалізуються в тих або інших умовах шліфування, наскільки швидко відбувається процес пристосування інструмента до оброблюваного матеріалу.

При збільшенні сил різання, у міру затуплення круга, можливий брак при виготовленні деталей напилених матеріалів внаслідок збільшення глибини тріщинуватого шару» [11].

«При аналітичних розрахунках сил різання, параметрів шорсткості шліфованої поверхні, локальних температур і інших показників процесу шліфування реальна форма зерна замінюється спрощеним геометричним тілом: кулею, циліндром, еліпсоїдом обертання, прямокутним паралелепіпедом»[16]. «Форму різальної частини представляють: конусом із закругленою або загостреною вершиною, усіченим конусом, кульовим сегментом, набором призм або циліндрів»[16]. «Різноманітність пропонованих моделей зерен обумовлена завданнями, які вирішують автори за допомогою цих моделей. При розгляді механізму руйнування зерна використовують модель зерна у вигляді усіченого конуса або призми. Вона також використовується при визначенні сил тертя в зоні контакту інструмент-заготовка. Зерно представляють у вигляді сфери при визначенні числа зерен в одиниці об'єму або на одиниці робочої поверхні круга» [16].

«Для моделювання утворення мікрорельєфу використовують еліпсоїд обертання або конус із заокругленою вершиною» [16].

Робоча поверхня круга в процесі видалення матеріалу припуска зазнає зміни, відбувається пристосованість взаємодіючих поверхонь.

Ефективність пристосованості визначається характеристиками інструмента і оброблюваного матеріалу, режимами різання, наявністю ЗОР і введенням в зону шліфування додаткової енергії.

«У кругів на металевих зв'язках процес саморегулювання робочого профілю спостерігається упродовж деякого часу після правки, а потім може відбуватися поступове згладжування рельєфу» [16] чи утворення робочого профілю круга, який

відповідає процесу взаємного руйнування, що встановився, оброблюваною і різальною поверхонь. Умови формування поверхневого шару відрізняються від первинних.

Як відзначалося в роботах [12], встановлення основних закономірностей, що зв'язують геометричні і фізичні параметри рельєфу різальної поверхні з параметрами процесу різання і критеріями якості оброблюваної поверхні, дозволяє перейти до нормування і контролю основних характеристик рельєфу. Для прогнозування якості поверхневого шару деталей необхідно вивчити вплив стану параметрів круга на формування поверхневого шару напилених поверхонь деталі.

1.2 Характеристика об'єкту виробництва, службове призначення, ТУ

Деталь “Вал” КС6 В -47.627 використовується в редукторі комбайна КС6В.

Призначення основне деталі “Вал” КС6 В -47.627 – передача руху обертового виконавчим органом агрегату за допомогою зубчастого закріплення зубчастих пар та кульковим підшипникам.

Основними поверхнями деталей, які мають основне значення для службового призначення деталей, є: дві зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 40$ к6 $\begin{pmatrix} +0,018 \\ +0,002 \end{pmatrix}$, Ra 1,25, які призначені для посадки зубчастих коліс, а також для базування ущільнень, кілець та компенсаційних втулок, які забезпечують відповідний натяг осьовий у з'єднаннях; дві циліндричні поверхні зовнішні $\varnothing 45$ к6 $\begin{pmatrix} +0,018 \\ +0,002 \end{pmatrix}$, Ra 1,25, які забезпечують посадку підшипників кочення; шпонкові пази 12P9 $\begin{pmatrix} -0,018 \\ -0,061 \end{pmatrix}$, Ra 6,3 визнані для встановлення шпонок призматичних, які забезпечують передачу моменту крутного; шліцева поверхня D 8 \times 46 a11 \times 54 h7 \times 9 h 9 ГОСТ 1139-80 – призначена для встановлення муфти шліцевої; два різових отвори M12-7H – для кріплення кришки редуктора; два отвори $\varnothing 5$ H12 призначені для фіксації кришки редуктора.

Деталь «Вал» КС6В-47.627 виготовляється з легованого сталі 40Х ГОСТ 4543-91 відповідно до кріплення деталей.

У нижче наведених таблицях приводимо механічні властивості, хімічний склад, технологічні властивості даного матеріалу[3].

Таблиця 1.2 – Хімічний склад хромистої сталі 40Х ГОСТ 4543-91, %

С	Si	Mn	кр	P	С	Cu	Ni	як
0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,8	0,8-1,0	0,035	0,04	0,25	0,25	0,08

Таблиця 1.3 – Механічні властивості хромистої сталі 40Х ГОСТ 4543-91

У _т , МПа	У _в , МПа	δ ₅ , %	ш, %	с, г/см ³	а _н , Дж/см ²	НВ
не менше						гарячокатаної
785	980	10	45	7,85	55	217-248

Технологічні властивості хромистої сталі 40Х ГОСТ 4543-91 Температура кування, С: початок 1250, кінець 800. Зварюваність – важкозварювана. Способи зварки: РДС і КТС. Необхідний підігрів і наступна термообробка.

1.3 Аналіз технологічності конструкції деталей

Відпрацювання конструкції виробу на технологічність включає в себе оцінку технологічності і конструкції на якісному і кількісному рівнях.

Якісні показники технологічності

Конструкція даної деталі “Вал” КС6В-47.627 є простотою і не вимагає змін або спрощення, навіть при умові зміни типу виробництва.

Матеріалом деталі є легована сталь 40Х ГОСТ 4543-91, яка відповідає всім технічним вимогам, які висуваються до деталі, та умовам експлуатації даної деталі. Заготовкою є прокат – раціональний метод отримання заготовки, виходячи з умов марки матеріалу, заданого типу виробництва, виконання технічних вимог та конструкції деталей, а також з економічних міркувань.

У деконструкції на перших операціях передбачено утворення центрових отвори, які будуть використані на наступних операціях з якістю баз. Також в якості технологічних баз використані зовнішні торцеві і циліндричні поверхні деталі.

Конструкцією та призначенням деталі не передбачено важкооброблених та тяжкодоступних поверхонь, які б вимагали складних методів обробки та відповідно нетехнологічних поверхонь.

Всі деталі поверхні зручні і доступні для контролю.

Деталь «Вал» КС6В-47.627 є жорсткою.

При виготовленні деталей можливо використовувати високопродуктивне спеціальне та спеціалізоване оснащення та обладнання.

Аналізуючи вищенаведене, можна зробити висновок, що деталь є технологічною.

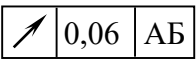
Кількісні показники технологічності

Для розрахунку кількісних показників необхідно заповнити таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 – Кількісні показники технологічності

Назва поверхні. Позначення на кресленні	Кількість поверхонь	Кількість уніфікованих поверхонь	Квалітет точності	Параметр шорсткості по ГОСТ 2789-73	Клас шорсткості (чистоти поверхні)		
1	2	3	4	5	6		
Торцева поверхня 498 _{-0,3}	2	2	11	Ra 25	2		
Фаска зовнішня 6×15°	1	–	14	Ra 25	2		
Зовнішня циліндрична поверхня ∅ 39,9h14 (-0,62)	2	2	14	Ra 25	2		
Зовнішня цилін- дрична поверхня ∅ 40k6 (+0,018 +0,002)	2	2	6	Ra 1,25	7		
Шпонковий паз 12P9 (-0,018 -0,061) 5 ^{+0,2} , 1=80 ^{+0,2}	2	2	9	Ra 6,3	4		
Зовнішня циліндрична поверхня ∅ 45k6 (+0,018 +0,002)	2	2	6	Ra 1,25	7		
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="padding: 2px;">А</td> <td style="padding: 2px;">Б</td> </tr> </table>	А	Б					
А	Б						

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5	6
Торцева поверхня 109 _{-0,3} 	1	1	12	Ra 2,5	6
Шліцева поверхня D8×46a11×54h7×9h9 ГОСТ 1139-80	8	8	9	Ra 6,3	4
Зовнішня циліндрична поверхня ∅ 54h7	1	1	7	Ra 1,6	6
Фаска зовнішня 30°	1	–	14	Ra 25	2
Отвір ∅ 10,2H14 ^(+0,36) під різь М12-7Н; l = 48	2	2	14	Ra 25	2
Різь М12-7Н; l = 32	2	2	13	Ra 12,5	3
Внутрішня фаска 1,6×45°	2	2	14	Ra 25	2
Отвір ∅ 5H12 ^(+0,12) , l = 32	2	2	12	Ra 25	2
Разом	30	28			

«Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{T_{\text{cp}}},$$

де T_{cp} – середній квалітет точності»[1].

$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{14 \cdot 8 + 13 \cdot 2 + 12 \cdot 3 + 11 \cdot 2 + 9 \cdot 10 + 7 \cdot 1 + 6 \cdot 4}{30} = 10,56;$$

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{10,56} = 0,9.$$

При $K_{\text{т.ч.}} = 0,9 > 0,8$ деталь середньої точності і, відповідно технологічна.

Відповідно, дана деталь “Вал” є технологічною.

«Коефіцієнт шорсткості.

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{cp}}},$$

де B_{cp} – середній клас шорсткості»[1].

$$B_{cp} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{7 \cdot 4 + 6 \cdot 2 + 4 \cdot 10 + 3 \cdot 2 + 2 \cdot 12}{30} = 3,66;$$

де B_i – класи шорсткості (чистоти поверхні);

n_i – число поверхонь відповідного класу шорсткості.

$$K_{ш} = \frac{1}{3,66} = 0,27.$$

При $K_{ш} = 0,27$ деталь нетяжкообролювана.

Відповідно, дана деталь “Вал” є технологічною.

«Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів.

$$K_{y.e.} = \frac{N_{y.e.}}{N_e} = \frac{28}{30} = 0,93;$$

де $N_{y.e.}$ – число уніфікованих типорозмірів і конструктивних елементів.

N_e – загальне число конструктивних елементів в деталі»[1].

При $K_{y.e.} > 0,6$ деталь відноситься до технологічних.

При $K_{y.e.} < 0,6$ деталь нетехнологічна.

Відповідно, дана деталь “Вал” є технологічною.

Висновок: На основі якісної і кількісної оцінки технологічності деталі приходимо до висновку, що вона є технологічною і заміну конструкції деталі проводити не доцільно.

1.4 Дефектування деталі

Вузли і деталі дефектують з метою оцінки їхнього технічного стану і визначення можливості їхньої подальшої експлуатації чи необхідності відновлення.

«При дефектуванні встановлюють: спрацьованість робочих поверхонь, тобто зміни розмірів і геометричної форми деталей; наявність викришування, тріщин, сколів, пробоїн, подряпин, задер тощо; залишкових деформацій у вигляді вигину, перекосу; зміни фізико-механічних характеристик в результаті впливу температури, вологи тощо»[3].

1. Зовнішній огляд дозволяє виявити значну кількість дефектів: пробоїни, вм'ятини, явні тріщини, значні вигини і перекося, порушення з'єднань, викришування в даній деталі підшипник.

2. При перевірці на дотик визначають спрацювання поверхні під підшипники, легкість прокручування підшипників кочення.

3. Гасова проба здійснюється з метою виявлення тріщини та її кінців. Деталь або занурюють на 15-20 хв. до гасу, або гасом змащують передбачуване дефектне місце, ретельно потім протирають і покривають крейдою. Гас, що виступає з тріщини, зволожує крейду і чітко виявляє межі тріщини.

4. Виміри за допомогою вимірювальних інструментів і засобів дозволяють визначити величину спрацювання і зазорів в сполучуваних деталях, відхилення від форми і розташування поверхонь.

5. При перевірці твердості поверхні визначають зміни, які виникли в процесі її експлуатації.

6. Магнітний спосіб заснований на зміні значення і напрямку магнітного потоку, який проходить через деталь у місцях з дефектами. Ця зміна визначається нанесенням на випробовувану деталь сухого чи завислого в гасові (трансформаторному мастилі) феромагнітного порошку: порошок обсідає по кромці тріщини. Спосіб використовується для виявлення тріщин і раковин у сталевих деталях за допомогою стаціонарних і переносних (для великих деталей) магнітних дефектоскопів.

«Спостереження за зносом і пошкодженнями деталей машин при експлуатації дозволяє виділити п'ять основних видів руйнування деталей:

1) деформація і злом (крихкий, в'язкий, втомлений, остаточна деформація, контактне втомлене пошкодження);

2) механічний знос (знос металевих пар, абразивний знос);

3) ерозійно-кавітаційне пошкодження (рідинна ерозія, кавітація, газова ерозія);

4) корозійне пошкодження (атмосферна корозія, корозія в електролітах, газова корозія);

5) корозійно-механічне пошкодження (корозійна втома, корозійне розтріскування, корозія при терті)»[3].

Дефекти 1 та 2 (Рис.1.2) відносяться до другої групи пошкоджень і є поправним. Вони розташовані на зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 45$ мм. Дефект виникає при зношуванні зовнішньої поверхні вала у зв'язку із спрацюванням спряження вал підшипник. Тобто його можливо і доцільно ремонтувати. Визначальним служить механічна взаємодія поверхонь, що контактують, яка викликає руйнування оксидних плівок, частки яких не віддаляються за межі контакту і діють як абразив. Також має місце адгезійна взаємодія в поєднанні з корозією. Внаслідок адгезії частки металу спочатку відокремлюються від поверхні, потім окислюються киснем середовища і перетворюються в абразив. Дефект 1 та 2 виник також за рахунок дії підвищених статичних та динамічних навантажень, так як силу яку прикладають до даної поверхні спричиняє великі напруження.

Дефекти 3 та 4 також є поправними, які розташовані на зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 40$ і являють собою шпонкові пази. Дефекти виникають у зв'язку із змінними навантаженнями, які передаються через шпонку, внаслідок цих навантажень посадки на шийку $\varnothing 40k7(-0,025)$ відбувається збільшення зазору і з'являються люфти наслідком чого є збільшення динамічних навантажень на шпонку. Тобто шпонка починає працювати з зазором, і це викликає розбивання шпонкового паза.

Дефекти 5 та 6 передують дефектам 3 та 4 і також є виправними. Дані дефекти розташовані на зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 40$. Дефекти виникають при зношуванні зовнішньої поверхні вала у зв'язку із спрацюванням спряження вал рукоятка, а також із сприйняттям змінних навантажень. Тобто дані дефекти можливо і доцільно ремонтувати.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір та технологічне обґрунтування методів відновлення поверхонь деталі

Всі дефекти, що розглядаємо відносяться до поправних. Тобто дані дефекти можливо і доцільно ремонтувати.

Дефекти 1 та 2 розташовані на зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 45$ мм. Дефекти виникають при зношуванні зовнішніх поверхонь валу у зв'язку із спрацюванням спряження вал підшипник. Дані дефекти будемо усувати методом напилення з подальшою механічною обробкою до номінального розміру $\varnothing 45k6^{(+0.018}_{+0.002})$.

Дефекти 3 та 4 розташовані на зовнішніх циліндричних поверхнях $\varnothing 40$ і являють собою шпонкові пази. Дефекти виникають у зв'язку із змінними навантаженнями, які передаються через шпонку на вал. Дефекти 3 та 4 будемо усувати методом заплавлення з подальшим фрезеруванням нових шпонкових пазів.

Дефекти 5 та 6 передують дефектам 3 та 4. Дані дефекти розташовані на зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 40$. Дефекти виникають при зношуванні зовнішньої поверхні валу у зв'язку із спрацюванням спряження вал рукоятка, а також із сприйняттям змінних навантажень. Дані дефекти будемо усувати методом наплавлення з подальшою механічною обробкою до номінального розміру $\varnothing 40k7$.

В якості матеріалу для наплавки в середовищі захисного газу вибираємо проволку НІ-30ХГСА, що дасть не меншу якість наплавленого шару і значно зменшить собівартість відновлення деталі.

Оберем проволку діаметром 1,2 мм. Яка має такий хімічний склад:

$Si = 0.90-1.20\%$; $Cu = 0.30\%$; $Mn = 0.80-1.10\%$; $Ni = 0.30\%$; $P = 0.025\%$; $Cr = 0.80-1.10\%$; $S = 0.025\%$.

Фізичні властивості:

- Модуль пружності, $E = 215$ ГПа;
- Густина, $\rho = 7850$ кг/см³;
- Коефіцієнт теплопровідності - 38 Вт/(м · °С);

- Коэффициент линейного расширения -11.7 .

2.2 Вибір технологічних баз

Виходячи зі службового призначення валу, виходить, що її основними базами є вісь деталі – подвійна напрямна база та торець деталі – упорна база. Деталь має такі комплекти допоміжних баз: циліндрична поверхня ($\text{Ø}40 \times 85 \text{мм}$) – допоміжна подвійна напрямна база та торець деталі – упорна база.

Аналіз технічних умов показав, що допуск радіального биття подвійної напрямної бази ($\text{Ø}40 \times 85 \text{мм}$) до осі деталі – 0,025 мм.

Оскільки на найбільш відповідальних операціях використовуються основні бази, то їх потрібно обробляти в першу чергу. Вирішити питання з технологічними базами для більшості операцій, вибираються бази для перших операцій. На рис. 2.1.а це зміщення зображено замикаючою ланкою A_{Δ} розмірного ланцюга, складовими ланками якого є - A_1 - номінальний діаметр оброблюваного отвору ($\text{Ø}10^{+0,027}$); A_2 - діаметр базової поверхні $\text{Ø}45_{-0,032}^{-0,012}$, A_3 - діаметр базової поверхні $\text{Ø}60_{-0,2}$.

На рис. 2.1.б – в приведені 2 варіанти базування, які відрізняються тим, що в першому випадку здійснюється на призматичну поверхню бічної поверхні валу $\text{Ø}60_{-0,2}$, а в другому – на оправку. Уявна напрямна база може бути реалізована за допомогою самоцентруючого пристрою.

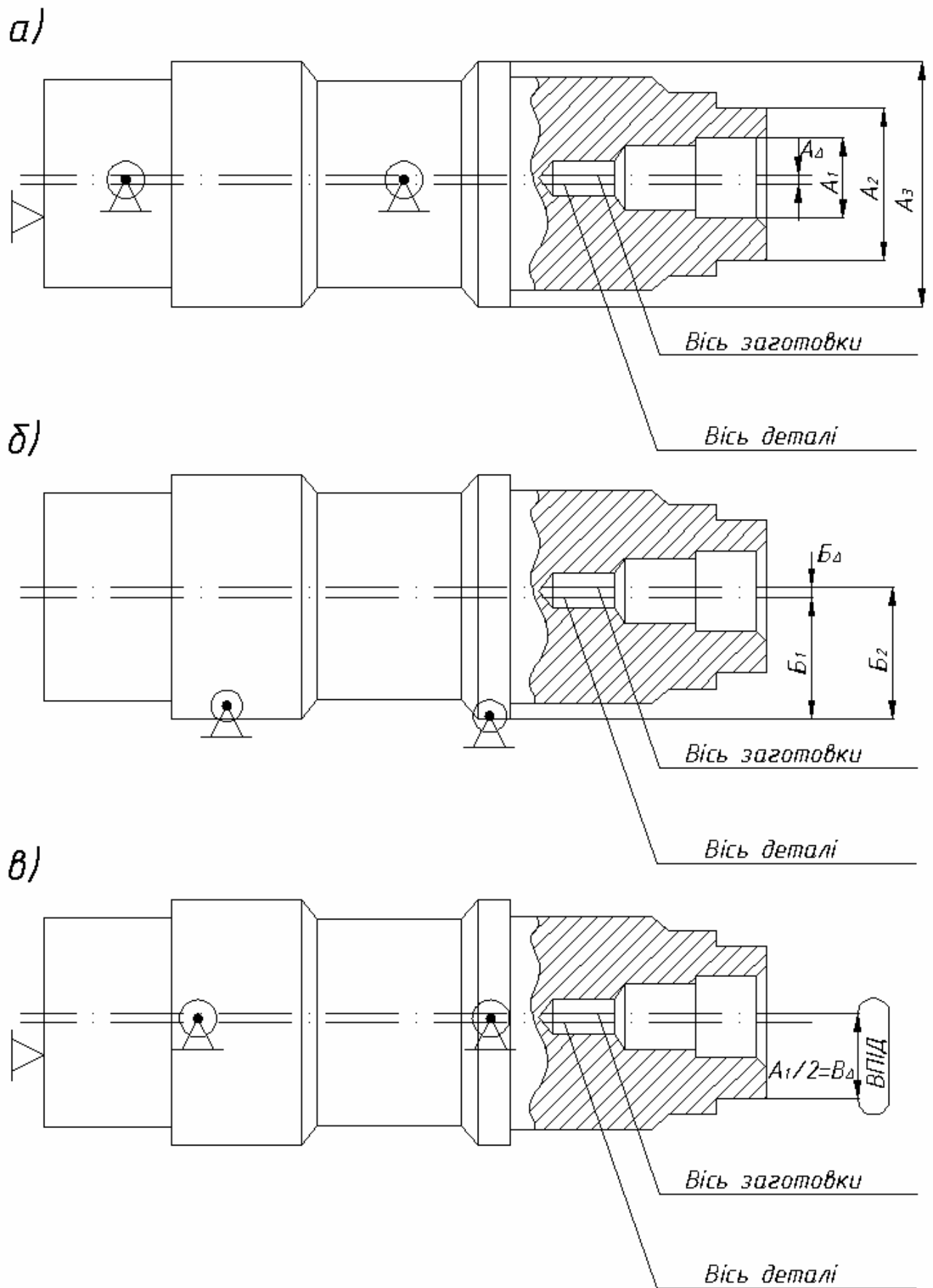


Рисунок 2.1- Схеми базування

Аналізуючи технологічні розмірні ланцюги й похибки їх складових ланок отримуємо:

$$\text{в 1 варіанті: } \omega A_{\Delta} = \omega B_1 + \omega B_2 + \frac{\omega A_1}{2} = 0,1 + 0,65 + 0,15 = 0,9(\text{мм});$$

$$\text{в 2 варіанті: } \omega A_{\Delta} = \omega B_1 + \frac{\omega A_1}{2} = 0,01 + 0,65 = 0,66(\text{мм});$$

де, $\omega A_{\Delta}, \omega A_1, \omega A_2, \omega B_1, \omega B_2, \omega B_{\Delta}$ - похибки відповідних ланок розмірних ланцюгів.

Таким чином, другий варіант базування забезпечує меншу нерівномірність припуску, але при цьому ускладнюється конструкція пристрою.

2.3 Визначення кількості переходів та операцій відновлення поверхонь

2.3.1 Визначення кількості переходів операцій відновлення поверхні 3 та 4.

Кількість переходів механічної обробки при підготовці до відновлення залежить ввід виду поверхні та способу відновлення.

Кількість проходів при нанесенні покриття:

$$K_{\text{перех.принapl.}} = \frac{h}{h_1}$$

h_1 – це величина шару металу що наноситься за 1 прохід відновлення = 2...3мм.

$$K_{\text{перех.принapl.}} = \frac{1,85}{2} = 0,9 \text{ проходи, тобто приймаємо 1 прохід.}$$

Кількість переходів механічної обробки після нанесення покриття:

$$\Sigma = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}},$$

де $T_{\text{заг}}$ - допуск на відновлення поверхні після нанесення покриття = 400 - 800мкм. Приймаємо 600 мкм.

$T_{\text{дет}}$ - допуск на деталі згідно креслення = 25мкм.

$$\Sigma = \frac{600}{25} = 24 \text{ мкм,}$$

Чорнова $\Sigma = 5 \dots 6$

Напівчистова $\Sigma = 3 \dots 4$

Чистова $\Sigma = 1,5 \dots 2$

$$\Sigma = 5 \cdot 3 \cdot 1,6 = 24$$

Відповідно до величини Σ встановлено, що кількість ступенів механічної обробки буде 3. Тобто в технологічному процесі відновлення виконуються обробка:

- точіння попереднє;
- точіння остаточне;
- шліфування остаточне.

2.3.2 Визначення кількості переходів операцій відновлення поверхні 5 та 6.

Кількість переходів механічної обробки при підготовці до відновлення залежить ввід виду поверхні та способу відновлення.

Кількість проходів при нанесенні покриття:

$$K_{\text{перех.принapl.}} = \frac{h}{h_1},$$

h_1 – це велечина шару металу що наноситься за 1 прохід відновлення = 0,02...0,1мм.

$$K_{\text{перех.принapl.}} = \frac{0.584}{0.1} = 5.8 \text{ проходи, тобто приймаємо 6 проходів.}$$

Кількість переходів механічної обробки після нанесення покриття:

$$\Sigma = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}},$$

де $T_{\text{заг}}$ - допуск на відновлення поверхні після нанесення покриття = 300 мкм.

$T_{\text{дет}}$ - допуск на деталі згідно креслення = 19мкм.

$$\Sigma = \frac{300}{19} = 15.8 \text{ мкм,}$$

Чорнова $\Sigma = 5 \dots 6$;

Напівчистова $\Sigma = 3 \dots 4$;

Чистова $\Sigma = 1,5 \dots 2$.

$$\Sigma = 5 \cdot 3,16 = 15,8$$

Відповідно до величини Σ встановлено, що кількість ступенів механічної обробки буде 2. Тобто в технологічному процесі відновлення виконуються обробка:

- шліфування попереднє (чорнове);
- шліфування остаточне (чистове);

2.4 Формування маршруту технологічного процесу відновлення деталі

Згідно результатів дефектування і технології відновлення дефектів складаємо план операцій відновлення валу:

- 005 – Мийна: мити в розчині «Лобомид – 102»;
- 010 – Дефектувальна;
- 015 – Наплавочна: заправити шпонкові пази поверхні 1 та 2;
- 020 – Токарна: точіння поверхонь: 3 та 4 до $\varnothing 40$ і поверхні 5 та 6 до $\varnothing 44,4$;
- 025 – Наплавочна: наплавлення поверхонь 3 та 4 до $\varnothing 41,703$;
- 030 – Термічна: відпуск деталі при температурі 550°C з подальшим охолодженням на повітрі;
- 035 – Токарна: чорнове точіння поверхонь: 3 та 4 до $\varnothing 40,623$; та наступне чистове точіння поверхонь: 3 та 4 до $\varnothing 40,138$.
- 040 – Напилювальна: напилити поверхню 5 та 6 до розміру $\varnothing 45,57$;
- 045 – Фрезерна: фрезерувати шпонковий паз на поверхнях 3 та 4 на 180° відносно положення поверхонь 1 та 2;
- 050 – Термічна: гартувати деталь при температурі 850°C з наступним охолодженням в мастилі;
- 055 – Мийна: мити в розчині «Лобомид – 102»;
- 060 – Шліфувальна: шліфувати поверхню 3 та 4 в розмір $\varnothing 40$ (чистове шліфування); шліфувати поверхню 5 та 6 в розмір $\varnothing 45,123$ (чистове шліфування); шліфувати поверхню 5 та 6 в розмір $\varnothing 45,021$ (чистове шліфування).
- 065 – Контрольна: виконати проміри відновлених поверхонь згідно ремонтного креслення.

Таблиця 2.1 – Маршрут обробки

№ Оп.	Найменування операції та зміст переходів	Обладнання
1	2	4
005	<p>Мийна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити деталь; 2. Мити деталь розчином «Лобомид–102»; 3. Вийняти деталь. 	Мийна машина ОМ-4610
010	<p>Дефектувальна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити деталь; 2. Виявити дефекти деталі зовнішнім оглядом; 3. Виконати контрольні проміри 	Контрольний стіл, вимірюва- льний інструмент (мікрометр, штан- гель циркуль)
015	<p>Наплавлювальна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити та закріпити деталь; 2. Заплавити шпонкові пази поверхні 1 та 2; 3. Зняти деталь. 	Установка У651.
020	<p>Токарна:</p> <p>Установ 1</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити та закріпити деталь; 2. Точити поверхню 4 до Ø39; 3. Точити поверхню 6 до Ø44,4; <p>Установ 2</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Переустановити деталь; 5. Точити поверхню 3 до Ø39; 6. Точити поверхню 5 до Ø44,4; 7. Зняти деталь. 	Токарний верстат з ЧПК NL635S; Поводковий патрон; Різець упорний прохідний лівай.
025	<p>Наплавлювальна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити та закріпити деталь; 2. Наплавити поверхню 3 та 4 до Ø40,703; 3. Зняти деталь. 	Установка У651.
030	<p>Термічна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити та закріпити деталь; 2. Відпуск поверхонь 3 та 4 при t-рі 550°C з подальшим охолодженням на повітрі; 3. Зняти деталь. 	Установка СВЧ

Продовження таблиці 2.1

1	2	4
035	<p>Токарна: Установ 1</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити та закріпити деталь; 2. Точити поверхню 4 до Ø40,623; 3. Точити поверхню: 4 до Ø40,138; <p>Установ 2</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Переустановити деталь; 5. Точити поверхню 3 до Ø40,623; 6. Точити поверхню 3 до Ø40,138; 7. Зняти деталь. 	Токарний верстат з ЧПК NL635S, Поводковий патрон, Різець упорний прохідний лівай.
040	<p>Напилювальна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити та закріпити деталь; 2. Напилити поверхню 5 та 6 в розмір Ø45,57; 3. Зняти деталь. 	Напилювальна установка УМП – 6; Плазматрон ПП-6.
045	<p>Фрезерна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити деталь; 2. Фрезерувати шпонкові пази згідно креслення на поверхнях 3 та 4; 3. Зняти деталь. 	Вертикально – фрезерний верстат з ЧПК VM1304H
050	<p>Термічна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити та закріпити деталь 2. Гартувати поверхню 3 та 4 при т-рі 850°C з наступним охолодженням в мастилі; 3. Зняти деталь. 	Установка СВЧ
055	<p>Мийна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити деталь; 2. Мити деталь; 3. Вийняти деталь. 	Мийна машина OM-4610
060	<p>Шліфувальна: Установ 1</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити та закріпити; 2. Шліфувати поверхню 6 в розмір Ø45,123; 3. Шліфувати поверхню 6 в розмір Ø45,021; 4. Шліфувати поверхню 4 в розмір Ø40; <p>Установ 2</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Переустановити деталь; 6. Шліфувати поверхню 5 в розмір Ø45,123; 7. Шліфувати поверхню 5 в розмір Ø45,021; 8. Шліфувати поверхню 3 в розмір Ø40; 9. Зняти деталь. 	Круглошліфувальний верстат з ЧПК G38TH-200CNC

Продовження таблиці 2.1

1	2	4
065	Контрольна: 1. Установити деталь; 2. Виконати контрольні проміри поверхонь 1-6 згідно ремонтного креслення 3. Зняти деталь.	Контрольний стіл, інструмент для вимірювання (мікрометр, штангель циркуль)

2.5 Розрахунок припусків

Вал відновлюється поверхні 5 та 6 методом плазмового напилення. Уся зазначена обробка виконується з установкою заготовки в центрах по зовнішньому діаметрі $\varnothing 45k6^{(+0,021}_{+0,002})$.

Заносимо маршрут обробки в графу 1 табл. 2.2. Дані для заповнення граф 2, 3 узяті з довідника [5] В графу 4 вносимо данні про похибку встановлення, яке розраховується за формулою:

$$\Delta\Sigma = p_{\text{жол}} = \Delta k \cdot L = 0,10 \cdot 85 = 8,5$$

Δk – питома кривизна напиленої поверхні відповідно (довідник Горбацевич табл. 4.8), $\Delta k = 0,10$ мм

І $\Delta\Sigma = 8,5$ заносимо в таблицю 2.2 графу 4., а для шліфування попереднє (напів чистове), розраховали за такою формулою:

$$\Delta\Sigma_{\text{ост}} = K_y \cdot \Delta\Sigma_{\text{заг}}$$

Попереднє (напів чистове) $\Delta\Sigma_{\text{ост}} = 0,06 \cdot 8,5 = 0,51$ (мкм), а значення жолоблення для шліфування попереднє (чистове) не враховується

Так, як деталь обробляється в центрах то похибка встановлення приймається 0.

Визначивши похибку встановлення, всі дані записуємо в графу 5.

Розрахунок мінімальних припусків на діаметральні розміри для кожного переходу роблять по рівнянню:

$$2 \cdot Z_{\text{min}} = 2 \cdot \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta\Sigma_{i-1}^2 + \varepsilon_{\phi}^2} \right)$$

Попереднє (напів чистове) шліфування:

$$2 \cdot Z_{\min 1} = 2 \cdot \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta \Sigma_i^2 + \varepsilon_{\sigma'}^2} \right) = 2 \cdot \left(60 + 35 + \sqrt{8.5^2 + 0^2} \right) = 207 \text{ (мкм)}$$

Остаточне (чистове) шліфування:

$$2 \cdot Z_{\min 2} = 2 \cdot \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta \Sigma_i^2 + \varepsilon_{\sigma'}^2} \right) = 2 \cdot \left(10 + 20 + \sqrt{0.51^2 + 0^2} \right) = 61 \text{ (мкм)}$$

Розрахункові значення припусків заносимо в графу 6 табл. 2.2.

Розрахунок найменших розрахункових розмірів по технологічних переходах робимо, складаючи значення найменших граничних розмірів, що відповідають попередньому технологічному переходові, з величиною припуску на виконуваний перехід:

$$45 + 0,002 = 45,002 \text{ мм};$$

$$45,002 + 0,061 = 45,063 \text{ мм};$$

$$45,063 + 0,207 = 45,270 \text{ мм};$$

Найменші розрахункові розміри заносимо в графу 7 табл. 2.2. Найменші граничні розміри по переходах заносимо в графу 10 табл. 2.2.

Визначаємо допуск на виконуванні розміри:

Попереднє (напів чистове) шліфування:

$$T_1 = \frac{T_{заг}}{\Sigma_1} = \frac{300}{5} = 60, \text{ IT9 (60 мкм)};$$

Остаточне (чистове) шліфування:

$$T_2 = \frac{T_1}{\Sigma_2} = \frac{60}{3.16} = 19, \text{ IT7 (19 мкм)};$$

Отримані дані допуску на виконуванні розміри записуємо в графу 8.

Потім визначаємо найбільші граничні розміри по переходах:

$$45,002 + 0,019 = 45,021 \text{ мм};$$

$$45,063 + 0,06 = 45,123 \text{ мм};$$

$$45,270 + 0,3 = 45,570 \text{ мм};$$

Результати розрахунків вносимо в графу 9 табл. 2.2.

Розрахунок фактичних максимальних і мінімальних припусків по переходах робимо, віднімаючи відповідно значення найбільших і найменших граничних

розмірів, що відповідають виконуваному і попередньому технологічному переходам:

Максимальні припуски

$$45,570 - 45,123 = 0,447 \text{ мм};$$

$$45,123 - 45,021 = 0,102 \text{ мм};$$

Мінімальні припуски:

$$45,270 - 45,063 = 0,207 \text{ мм}$$

$$45,063 - 45,002 = 0,061 \text{ мм};$$

Результати розрахунків заносимо в графу 11 і 12 табл. 2.2.

Розрахунок загальних припусків робимо по рівняннях:

найбільшого припуску:

$$Z_{0\max} = \Sigma Z_{\max} = 0,447 + 0,102 = 0,549 \text{ (мм)}$$

найменшого припуску

$$Z_{\min} = \Sigma Z_{\min} = 0,207 + 0,061 = 0,268 \text{ (мм)}$$

Таблиця 2.2 – Припуски та граничні розміри

Маршрут обробки поверхні діаметром $\varnothing 45k6^{(+0,021)}_{(+0,002)}$	Елементи припуску, мкм				Розрахункові величини		Допуск на виконуваний розміри, мкм	Прийняті (округлені) розміри заготовки по переходах, мм		Граничний припуск, мкм	
	Rz	h	$\Delta\Sigma$	ε	припуск у $2Z_i$, мкм	мінімаль- ного діа- метра, мм		найбіль- ші	найме- нші	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Плазмове напилення	60	35	8,5	0	-	45,270	300	45,570	45,270	-	-
Шліфування:											
попереднє (напівчистове)	10	20	0,51	0	207	45,063	60	45,123	45,063	447	207
Остаточне (чистове)	5	15	-	0	61	45,002	19	45,021	45,002	102	61

Перевірку правильності розрахунків проводимо по рівнянню :

$$Z_{0\max} - Z_{\min} = T_z - T_d \text{ (мм)}$$

$$0,549 - 0,268 = 0,300 - 0,019;$$

$$0,281 = 0,281.$$

Величина шару металу що наноситься при відновленні деталі методом плазмового напилення визначається за формулою:

$$h = Z_{\max} + Z + t;$$

де Z_{max} - максимальний знос, в мм = 0,021;

Z – припуск на обробку, в мм = 0,549;

t – шар металу що знімається при попередній механічній обробці, в мм = 0,6.

$$h = 0,021 + 0,549 + 0,6 = 1,17 \text{ мм.}$$

Отже, величина нанесеного шару на одну сторону вала становить 0,585мм.

2.6 Розрахунок та призначення режимів нанесення покриття

2.6.1 Операція 025 – Розрахунок режимів наплавлення поверхонь 3 та 4.

Основними параметрами процесу є: напруга U , В; сила струму I , А; швидкість подачі електродного дроту V_n , м/год; частота обертання деталі n , хв⁻¹; крок наплавки S , мм; виліт електрода H , мм; швидкість наплавлення V_n , м/год.

Так як обраний метод відновлення – наплавлення в середовищі вуглекислого газу, розрахуємо режими наплавлення.

- величину струму наплавлення:

$$I_n = \frac{\pi \cdot d_e^2 \cdot a}{4}, \text{ А}$$

де d_e – діаметр електродного дроту;

a - щільність струму в електродному дроті (110 - 130 А/мм²) беремо 110 А/мм².

$$I_n = \frac{3.14 \cdot 1.2^2 \cdot 110}{4} = 125 \text{ А.}$$

- напругу:

$$U = 21 + 0.04 I_n, \text{ В}$$

$$U = 21 + 0.04 \cdot 125 = 26 \text{ В.}$$

- швидкість подачі електродного дроту:

$$V_e = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_n}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \gamma_e}, \text{ м / год}$$

де d_e - діаметр електродного дроту = 1,2мм;

γ_e – питома маса електродного дроту, г/см³, для дроту з суцільним перерізом 7.8 г/см³;

α_p – коефіцієнт розплавлення дроту ($\alpha_p = \frac{\alpha_e}{\eta}$);

η – коефіцієнт врахування втрат металу вигорання та розбрискування (для наплавлення в середовищі загисного газу 0.88-0.92);

$$V_e = \frac{4 \cdot 0.9 \cdot 125}{3.14 \cdot 1.2^2 \cdot 7.8} = 12.8 \text{ м / год}$$

- виліт електродного дроту:

$$H = (6 - 10)d_e, \text{ мм}$$

$$H = 8 \cdot 1.2 = 9.6, \text{ мм.}$$

- коефіцієнт наплавки:

$$\alpha_n = 2,3 + 0,065 \cdot \frac{I_n}{d_e}, \text{ г/А} \cdot \text{год}$$

$$\alpha_i = 2,3 + 0,065 \cdot \frac{125}{1.2} = 9 \text{ г/А} \cdot \text{год}$$

- зміщення електроду від зеніту:

$$a = (0,05 - 0,1)D_0;$$

$$a = 0,1 \cdot 43 = 4.3 \text{ мм};$$

- швидкість наплавлення:

$$V_n = \frac{\pi \cdot d_e \cdot V_e}{4 \cdot S_n \cdot h_n} \eta, \text{ м/ГОД}$$

де $S_n = (2 - 2.5)d_e$ – крок наплавки в мм;

h_n – товщина наплавленого шару.

$$V_n = \frac{3.14 \cdot 1.2 \cdot 12.8}{4 \cdot 2.4 \cdot 3.703} \cdot 0.9 = 1,22 \text{ м/год.}$$

- частота обертання деталі:

$$n = 5.31 \cdot \frac{V_i}{D_d}, \text{ хв}^{-1}.$$

$$n = 5.31 \cdot \frac{1,22}{43} = 0,15 \text{ хв}^{-1}.$$

- маса наплавленого металу:

$$G_{н.м.} = V_{н.м.} \cdot \gamma (z).$$

$$G_{н.м.} = 10,4 \cdot 7,8 = 81 (г).$$

де $V_{н.м.}$ - об'єм наплавленого металу.

- витрати дроту:

$$G_{в.м.} = G_{н.м.} \cdot (1.05 \dots 1.1) (г).$$

$$G_{в.м.} = 81 \cdot 1.05 = 85.2 (г).$$

Так, як ми наплавлюємо два однакових дефекта то $G_{н.м.} = 81 \cdot 2 = 162 г.$ та $G_{в.м.} = 85.2 \cdot 2 = 170.4 г.$

- основний час:

$$t_0 = \frac{G_{н.м.}}{\alpha \cdot I} = 85.2 (с).$$

$$t_0 = \frac{81}{9.9 \cdot 125} = 6.5 (хв).$$

2.6.2 Операція 045 - розрахунок режимів напилення поверхні 5 та 6.

Напруга в залежності від використання плазмоутворюючого та транспортуючого (захисного) газу складає 25...35 В – при напиленні у аргоні і 45...55 В – при наплавленні у азоті або вуглекислому газі.

$I = 144 А, U = 27 В.$

Для отримання якісного покриття товщина шару, який має бути напилений за один прохід плазмотрона, повинна знаходитися в межах $h = 0,02 - 0,1$ мм. Згідно з тими ж рекомендаціями рівномірність товщини досягається, якщо кожна наступна смуга покриття перекриває попередню на 40 – 50%.

Для напилення відновлюваної поверхні діаметром $D = 60,4$ ми обираємо плазмотрон для напилення зовнішніх поверхонь ПП-6.

Плазмотрон ПП-6 призначений для напилення зовнішніх поверхонь деталей сплавів на основі Fe, Ni та Co. В якості робочого газу використовується чистий аргон (99,995%).

Технічні характеристики плазмотрона:

$I_{дп} = 30-150 (А)$ – сила струму стиснутої дуги прямої дії;

$I_{дк} = 30-150 (А)$ – сила струму стиснутої дуги побічної дії;

$P = 0,5-8$ (кг/год) – продуктивність напилення;

Фракція присадквррго порошку рівна 40-250 (мкм);

Втрати порошку, %<8;

Витрати робочого газу (аргон), 12-20 л/хв.;

Витрати охолодження води, >6 л/хв.;

Розміри плазмотрону, його діаметр $d=56$ (мм) та довжина $L=98$ (мм).

Маса $m = 1,5$ (кг);

При наплавленні у аргоні напруга U плазмо утворюючого та транспортуючого (захисного) газу складає 25...35 В;

Для напилення ми використаємо самофлюсуючий сплав на основі нікеля марка якого ПГ-12Н-01. Твердість 55 - 62 HRC.

1. Розрахунок об'єму плями напилювання:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{3.14 \cdot 20^2}{4} \cdot 0.1 = 31.4 \text{ (мм}^3\text{)},$$

де d – діаметр плями напилення (15...25 мм). Приймаємо $d = 20$ мм.

h – мінімальна товщина шару, напиленого за один прохід ($h=0,02..0,1$).

Приймаємо $h = 0,1$.

2. Обчислюємо масу плями:

$$m = \frac{Q}{\rho} = \frac{31.4 \cdot 7.8}{1000} = 0.25 \text{ (г)},$$

де ρ - густина порошку ($\rho = 7,82 / \text{см}^3$)

3. Розраховуємо лінійну швидкість напилення:

$$V_l = \frac{P \cdot d}{3.6 \cdot m} = \frac{4 \cdot 20}{3.6 \cdot 0.25} = 88.9 \text{ (мм/с)},$$

де P – продуктивність методу ($P = 4$ кг/год),

4. Обчислюємо горизонтальну швидкість переміщення плазмотрона:

$$V_e = \frac{K \cdot d \cdot V_l}{\sqrt{h^2 \cdot d^2 + \pi^2 \cdot D^2}} = \frac{0.45 \cdot 20 \cdot 88.9}{\sqrt{0.1^2 \cdot 20^2 + 3.14^2 \cdot 60^2}} = 32.8 \text{ (мм/с)},$$

де D – діаметр деталі ($D = 60$ мм)

K – коефіцієнт перекриття ($K=0,45$)

5. Швидкість обертання деталі:

$$\omega_D = \frac{V_z}{K \cdot d} = \frac{32.8}{0,45 \cdot 20} = 3.6 (\text{об/с}).$$

Приймаємо $\omega_A = 4$ об/с

6. Кількість проходів:

$$n = \frac{H}{h} = \frac{0584}{0.1} = 6 \text{ (проходів)},$$

де H – загальна товщина напиленого шару на сторону.

7. Час напилювання:

$$t_o = \frac{m \cdot 60}{m_N} = \frac{0.25 \cdot 60}{4} = 3.75 (\text{хв}), (\text{с}),$$

де L – довжина поверхні дефекту 5 та 6 – 85мм,

m_N - продуктивність плазматрону кг/год.

8. Витрати порошку:

$$m_{II} = \frac{\pi(D_1^2 - D_2^2) \cdot L \cdot \rho}{4 \cdot 1000 \cdot \eta} = \frac{\pi(60.57^2 - 59.4^2) \cdot 85 \cdot 7.8}{4 \cdot 1000 \cdot 0.6} = 121.8 (\text{г})$$

де $\eta=60\%$ (0,6) коефіцієнт ефективності напилювання,

D_1 - діаметр деталі після напилення,

D_2 - діаметр деталі до напилення

Так, як ми напилюємо два однакових дефекта то $m_{II} = 2 \cdot 121.8 = 243.6 (\text{г})$.

2.7. Вибір та обґрунтування обладнання і джерел живлення

2.7.1 Вибір обладнання для наплавлення

Так, як нам потрібно відновити деталь великих габаритів, тобто довжина вала стрічкового конвеєра становит 1145 мм. Тож для відновлення даної деталі вибираємо спеціальну установку У651.

Установку У651 широко використовується для відновлення деталей наплавленням під шаром флюсу та в захисних газах.

Наплавлення виконується методом гвинтового або прямолінійного накладення зварювальних швів на відновлювану поверхню деталі. Установка забезпечує практично всі види наплавочних робіт:

- наплавлення циліндричних поверхонь по спіралі з кроком наплавлення від 2.8 до 12.6 мм;
- наплавлення деталей з коливаннями електрода на ширину наплавлюваної поверхні (до 60 мм);
- лінійне наплавлення;
- наплавлення конусних поверхонь.

На установці можливе наплавлення деталей діаметром від 20 до 500 мм і довжиною від 100 до 1300 мм, та масою деталей до 200 кг. В якості електродного матеріалу використовують суцільний дріт, або порошковий дріт діаметром 1.2 - 3.2 мм.

Наплавочна установка забезпечує фіксацію деталі, що відновлюється, її обертальний рух, подачу електродного дроту у зону горіння дуги, поступальний рух електродного дроту вдовж осі обертання деталі та при необхідності коливальний рух електродного дроту.

Наплавочна установка живиться від універсального зварювального випрямляча ВДУ-506УЗ, який має спадні та жорсткі характеристики. Даний випрямляч має напругу холостого ходу не більшу 85 В, номінальну робочу напругу для жорстких зовнішніх характеристик 50 В (межі регулювання - 18 - 50 В), а для спадних зовнішніх характеристик 46 В (межі регулювання 22 - 46 В).

Номінальний зварювальний струм сягає 500 А (межі регулювання для жорстких: від 60 до 500 А; для спадних від 50 до 500 А). Випрямляч забезпечує при нормальній напрузі мережі легке загоряння та стійке горіння дуги при різних струмах у межах регулювання.

2.7.2 Вибір обладнання для напилення.

Для напилення обираємо установку УМП – 6.

Висока якість покриття і повторюваність процесу його нанесення можливі тільки при використанні допоміжного обладнання, яке забезпечує закріплення і переміщення розпилювача відносно деталі. Майже всі серійні установки газополуменевого, електродугового і плазмового напилення не мають в комплекті обладнання маніпулятора. В умовах виробництва використовують в цій якості

токарни верстати або саморобні маніпулятори з різним числом ступенів свободи переміщення деталі відносно розпилювача.

Єдиним повнокомплектним апаратом, що серійно випускається, є напівавтомат плазмового напилення 15В-Б. В напівавтоматі штатної комплектації використовуються установки плазмового напилення УМП-6 або Київ-7, але замість них можна встановити іншу модель обладнання для газотермічного напилення.

До комплекту напівавтомата входять: камера; маніпулятор переміщення плазмотрона за двома взаємно перпендикулярними координатами, які розміщені в горизонтальній площині; обертач деталі з віссю обертання, яка розміщена в горизонтальній площині; механізована задня бабка; установка плазмового напилення; комплект пристосувань для охорони навколишнього середовища і створення оптимальних санітарно-гігієнічних умов праці оператора; комплект оснащення, що складається з патрона, заднього та переднього центрів; система керування напівавтоматом; шафа для балонів.

Конструкція напівавтомата дає можливість: встановлювати дистанцію напилення до 300 мм, повертати розпилювач у вертикальній площині в межах 120°; здійснювати не менше 120 подвійних ходів розпилювача за годину при нанесенні покриттів; встановлювати пневматичні патрони, обертові центри і інші види оснащення; використовувати механізований привод заднього центра від пневмопривода; завантажувати і розвантажувати напівавтомат важкими деталями (масою до 250 кг) за допомогою цехових засобів.

Процес нанесення покриттів відбувається в автоматичному режимі за попередньо розробленою програмою.

У комплект обладнання для плазмового напилення входять наступні вузли:

- плазмотрон;
- механізм транспортування порошкових чи дровових матеріалів;
- пульт керування, у якому зосереджені вимірювальні, регулюючі і блокуючі пристрої;
- джерело живлення дуги;
- джерело і приймач води для охолодження;

– комплекс комунікацій, що з'єднують окремі вузли установки і забезпечують підведення енергії, води і газів до плазмотрона.

Струм і газ, які підводять до установки, а також охолоджуюча вода взаємозв'язані. Їх взаємозв'язок полягає в тому, що електрична схема включення напруги, підведеної до плазмового пальника від джерела струму, заблокована контактами реле тиску, які встановлені в системі охолодження водою, а також контактами реле тиску, які встановлені в системі живлення плазмоутворюючим газом.

У випадку недостатніх витрат та тиску газу чи води спрацьовує відповідне реле і автоматично відключає джерело струму, запобігаючи від розплавлення плазмотрону.

Радіус обслуговування визначається довжиною гнучкого кабелю, який забезпечує підведення струму і охолоджуючої води до плазмотрона.

Для напилення даної деталі обираємо плазмотрон ПП-6, в якому для напилення використовуються лише порошкові матеріали. Для даної установки найкращім плазмоутворюючим газом є аргон.

Дану установку застосовують для напилення зовнішніх і внутрішніх поверхонь циліндричних деталей.

Джерелами живлення даної установки використовують два зварювальних перетворювача ПСО-500 або випрямляч ВКС-500 (який обираємо ми із-за вищого ККД), які дозволяють у широких межах змінювати напругу, яка підводиться до плазмотрона, і забезпечувати потрібний режим роботи.

Продуктивність даної установки 30 кВА, ККД=75%, коефіцієнт використання матеріалів 60 – 80%, продуктивність напилення 0.2...2 кг/год.

2.8 Нормування технологічного процесу

Проведемо нормування токарної операції 020

Точіння поверхні 3 та 4 $\varnothing 40$ мм до $\varnothing 39_{-0,25}$ мм та поверхні 5 та 6 $\varnothing 45$ мм до $\varnothing 44,4_{-0,25}$ виконуємо за один прохід.

Розрахункова довжина проходу L для поверхні 3 та 4:

$$L = 2 \cdot (l + l_1 + l_2) = 2 \cdot (40 + 3 + 0) = 86 \text{ мм.}$$

де l – довжина твірної, мм; l_1, l_2 – довжина врізування та перебігу різця, мм;

Розрахункова довжина проходу L для поверхні 5 та 6:

$$L = 2 \cdot (l + l_1 + l_2) = 2 \cdot (85 + 3 + 0) = 176 \text{ мм.}$$

Визначаємо основний час на операцію точіння поверхні 3 та 4:[12]

$$T_{01} = \frac{i \cdot L}{n \cdot S} = \frac{1 \cdot 86}{630 \cdot 0,78} = 0,18 \text{ хв.}$$

i - кількість проходів;

n - частота обертання;

S - подача.

Визначаємо основний час на операцію точіння поверхні 5 та 6:[12]

$$T_{02} = \frac{i \cdot L}{n \cdot S} = \frac{1 \cdot 176}{500 \cdot 0,78} = 0,45 \text{ хв.}$$

Визначаємо основний час точіння на операцію 020 в цілому:

$$T_0 = T_{01} + T_{02} = 0,18 + 0,45 = 0,63 \text{ хв.}$$

Визначаємо допоміжний час за табл. 22, 23, 24.[12]

$$T_{\text{доп}} = 2 \cdot 2,4 + 0 + 0,6 = 5,4 \text{ хв.}$$

Визначаємо $T_{\text{відп/обсл.}}$ для точіння 6,5% від $T_{\text{опер.}}$ [12]

$$T_{\text{опер}} = T_0 + T_{\text{доп}} = 0,63 + 5,4 = 6,03 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{відп/обсл.}} = 6,5\% \text{ від } T_{\text{опер}} = 0,391 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовче – завершальний час табл.26.[12]

$$T_{\text{п-з}} = 15 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучно – калькуляційний час:

$$T_{\text{ш-к}} = T_0 + T_{\text{доп}} + T_{\text{відп/обсл.}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{n_{\text{дет}}};$$

$$T_{\text{ш-к}} = 0,63 + 5,4 + 0,393 + \frac{15}{35} = 6,85 \text{ хв.}$$

$n_{\text{дет}}$ - кількість деталей в партії.

Результати розрахунків записуємо до таблиці 12.1

Нормування інших операцій проводимо аналогічно операції 020 і результати розрахунків записуємо до таблиці 12.1

Таблиця 2.3 – Нормування операцій

Номер і назва операції	T _о	T _{доп}	T _{оп}	T _{обс} +T _{від}	T _{п-з}	T _{шт-к}
1	2	3	4	5	6	7
005 Мийна	3,6	0,7	2,33	0,14	12	5,11
010 Дефектувальна	3	1,4	4,4	0,4	10	9,7
015 Наплавочна	2,5	3	5,5	0,35	15	6,27
020 Токарна	0,63	5,4	6,03	0,39	15	6,85
025 Наплавочна	6,5	3	9,5	0,62	15	10,54
030 Термічна	1,5	0,3	2,1	0,19	10,4	4,28
035 Токарна	0,55	5,4	5,95	0,38	15	6,76
040 Напилювальна	7,5	3	10,5	0,68	17	11,7
045 Фрезерна	1,68	2,21	3,89	0,25	12	4,48
050 Термічна	1,8	0,3	2,1	0,20	10,4	4,3
055 Мийна	3,6	0,7	2,33	0,14	12	5,11
060 Шліфування	1,44	5,8	7,24	0,52	7	9,4
065 Контрольна	3,2	1,4	4,6	0,3	2	4,911

Висновки: Проведено та технологічно обґрунтовано методи відновлення поверхонь деталі. Вибрано технологічні бази. Визначено кількість переходів та операцій відновлення поверхонь. Сформовано маршрут технологічного процесу відновлення деталі. Розраховано припуски та граничні розміри на поверхню $\varnothing 45k6^{+0,021}_{+0,002}$. Проведено розрахунок та призначено режими нанесення покриття. Вибрано та обґрунтовано обладнання і джерела живлення. Проведено нормування технологічного процесу.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Проектування пристрою для фрезерної операції

3.1.1. Вибір принципу дії, структурної схеми

Даний пристрій використовується при виконанні вертикально-фрезерної операції 045 на вертикально – фрезерному верстаті з ЧПК VM1304H.

Враховуючи різні конфігурації та розміри валу використовуються спеціальні елементи, що дозволяють звести до мінімуму час на переналадження при переході на виготовлення інших деталей.

При цьому встановлюється заготовка по чорнових базах – двох призмах торцях.

Переваги даного пристрою:

- просте і зручне базування заготовки;
- скорочення штучного часу за рахунок зменшення допоміжного;
- постійність силового затиску, що забезпечує мінімальну похибку встановлення;
- зменшення собівартості отримання деталі.

Точність, що забезпечується даним пристроєм повинна бути не нижчою, ніж допуск оброблюваної поверхні – 50 мкм (по 9-му квалітету точності).

3.1.2. Структурний аналіз і синтез компоновок, вибір оптимальної

«При виборі схеми компоновки пристрою необхідно забезпечити такі умови:

- 1) заготовка повинна займати стійке положення до прикладання сили затиску;
- 2) в процесі закріплення заготовки не повинно бути порушене надане їй при встановленні положення;
- 3) сили, які виникають в процесі різання, не повинні зміщувати заготовку»[1]

Для даної операції проектуємо пристрій. На рис. 3.1. приведена схема пристрою.

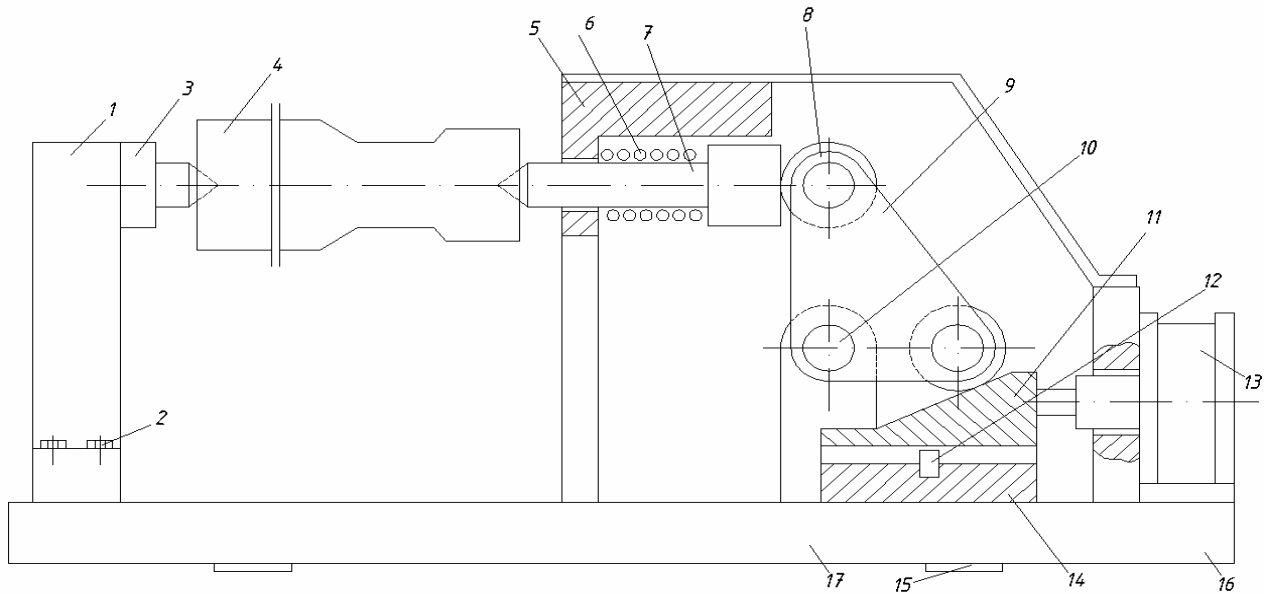


Рисунок 3.1- Приспособлення для фрезерування двох пазів

1 – стінка, 2 – болт, 3 – центр нерухомий, 4 – деталь, 5 – корпус, 6 – пружина, 7 – шток, 8 – ролик, 9 – важіль, 10 – вісь, 11 – клин, 12 – штифт, 13 – пневмоциліндр, 14 – направляюча, 15 - шпонка

У порівнянні з загальновідомим пристроєм (варіант 2) та штоковим зажимом (варіант 3), даний варіант має ряд переваг.

«Для вибору раціональної компоновки розраховуємо кожен з них коефіцієнтом приведення:

$$K_{\Sigma n} = 0,5K_1 + 0,35K_2 - 0,1K_3 - 0,1K_4 + 0,05K_5;$$

де, K_1 - коефіцієнт підсилення;

K_2 - коефіцієнт, який залежить від наявності властивості самогальмування;

K_3 - коефіцієнт, який залежить від кількості передавальних ланок;

K_4 - коефіцієнт, який залежить від наявності проміжної ланки;

K_5 - коефіцієнт, який залежить від компактності пристрою»[1].

Таблицю 3.1- Встановлення раціональної схеми компоновки пристрою

Схема	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	$K_{\Sigma n}$
1	1	1,3	1,2	0,85	1,6	0,83
2	1,2	1	1,3	0,9	1,9	0,83
3	0,8	0,9	1,3	0,75	1,7	0,60

Виходячи з критеріїв оцінки компоновочних схем, вибираємо схему 1, як таку, що має найбільший коефіцієнт ваги.

3.1.3. Розрахунки на точність

«На точність оброблення впливає ряд факторів, які викликають сумарну похибку Δ_{Σ} :

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{(K_1 \Delta \varepsilon_y)^2 + (K_2 \Delta_y)^2 + (K_3 \Delta_n)^2 + (K_4 \Delta_i)^2 + (K_5 \sum \Delta_{\varepsilon})^2 + (K_6 \sum \Delta_t)^2} ;$$

де, $K = 0,683$ - коефіцієнт відносного розсіювання вихідного параметра (коефіцієнт ризику);

$K_1 \dots K_6$ - коефіцієнти, що враховують відповідні закони розподілу похибок, приймаємо $K_1 = K_2 = K_3 = 1,0$, $K_4 = K_5 = K_6 = 1,73$.

$\Delta \varepsilon_y$ - похибка встановлення заготовки;

Δ_y - похибка оброблення, яка виникає внаслідок зміщення елементів технологічної системи під дією сил різання;

Δ_n - похибка налагодження технологічної системи на отримання заданого розміру.

Δ_i - похибка, яка виникає внаслідок розмірного зношування різального інструменту;

$\sum \Delta_{\varepsilon}$ - сумарна похибка верстата, яка виникає внаслідок його зношення за період експлуатації;

$\sum \Delta_t$ - сумарна температурна похибка»[1].

1) «Похибка встановлення заготовки $\Delta \varepsilon_y$:

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2} ;$$

де ε_{δ} - похибка базування;

ε_3 - похибка закріплення;

ε_{np} - похибка положення заготовки»[1].

«Похибка базування $\varepsilon_6 = 0$, оскільки конструкторські бази співпадають з технологічними.

Похибка закріплення $\varepsilon_3 = 0$, так як даний пристрій передбачається оснастити гідравлічним затискним механізмом, що забезпечить постійність сили затиску.

Похибка положення заготовки у пристрої ε_{np} є наслідком неточності виготовлення пристрою ε_6 , зношення його установочних елементів $\varepsilon_{зн}$ та похибки встановлення самого пристрою на верстаті $\varepsilon_{вст}$:

$$\bar{\varepsilon}_{np} = \bar{\varepsilon}_6 + \bar{\varepsilon}_{зн} + \bar{\varepsilon}_{вст}; \quad [1]$$

Технологічні можливості виготовлення пристроїв забезпечують похибку $\varepsilon_6 = 10 \div 15 \text{ мкм}$.

Приймаємо $\varepsilon_6 = 10 \text{ мкм}$.

«Величина зношення установочних елементів $\varepsilon_{зн}$:

$$\varepsilon_{зн} = \beta \cdot N^n;$$

де, N - кількість контактів заготовки з установочними елементами пристрою;

β - постійна, яка залежить від виду установчих елементів»[1].

$$\varepsilon_{зн} = 0,005 \cdot 3 = 0,015 \text{ мм};$$

Похибку встановлення пристрою на верстаті приймаємо рівною:

$$\varepsilon_{вст} = \sqrt{0,02^2 + 0,015^2 + \dots + \varepsilon_{вст}^2} = \sqrt{0,02^2 + 0,015^2 + 0,015^2} = 0,3 \text{ мм};$$

2. Похибку оброблення заготовки Δ_y приймаємо рівною 50 мкм.

3. «Похибку налагодження технологічної системи Δ_n визначимо, як:

$$\Delta_n = \sqrt{(K_p \cdot \Delta_p)^2 + (K_{вим} \cdot \Delta_{вим})^2},$$

де, $K_p, K_{вим}$ - коефіцієнти, які враховують закони розподілу випадкових величин;

Δ_p – похибка регулювання;

$\Delta_{вим}$ – похибка вимірювання»[1].

Приймаємо:

$$\Delta_p = 30 \text{ мкм}; \quad \Delta_{\text{вим}} = 50 \text{ мкм}; \quad Kp = 1,14; \quad K_{\text{вим}} = 1,0.$$

$$\Delta_n = \sqrt{(1,14 \cdot 30)^2 + (1,0 \cdot 50)^2} = 59,4 \text{ мкм}.$$

Похибку, яка виникає внаслідок зношення різального інструменту Δ_i , приймаємо рівною 50 мкм.

5. Сумарну похибку верстату $\sum \Delta_e$, яка виникає внаслідок його зношення за період експлуатації, приймаємо рівною 80 мкм.

6. Сумарну температурну похибку $\sum \Delta_t$ приймаємо рівною 10...15% від Δ_Σ :

$$\sum \Delta_\Sigma = \frac{1}{0,683} \sqrt{0,03^2 + 0,1^2 + 0,06^2 + (1,73 \cdot 0,1)^2 + (1,73 \cdot 0,08)^2} = 0,18 \text{ мм};$$

Загальна похибка:

$$\Delta_\Sigma = 0,18 \cdot 1,15 = 0,21 \text{ мм};$$

Таким чином, умова $\Delta_\Sigma \leq T_A$ виконується.

3.1.4. Розрахунок сили затиску, параметрів силового приводу

«Розраховуємо силу затиску W :

$$W = k \cdot P_z.$$

$k = 2$ - коефіцієнт надійності»[1].

Звідси $W = 173 \cdot 2 = 346 \text{ Н}$.

Згідно рис. 3.1. «зусилля находимо за формулою:

$$Q = 3 \cdot \frac{P_z (\operatorname{tg}(\alpha + \varphi)) - 3j}{1 - 3 \cdot \frac{l}{h} \cdot f} \cdot \frac{1}{\eta},$$

де, $\alpha = 3^\circ$ – кут клинового замка;

$\operatorname{tg} \varphi = 0,05$ – коефіцієнт тертя;

$j = 35,7 \text{ Н}$ – сила виштовхувальної пружини;

$l = 5 \text{ мм}$ – довжина важеля притискача;

$h = 12 \text{ мм}$ – довжина контактної шляхи;

$f = 0,15$ – коефіцієнт тертя сталі об сталь;

$\eta = 0,85$ – ККД пристрою»[1].

$$Q = 3 \cdot \frac{173,2 \cdot (0,65 + 0,05) - 3 \cdot 37,5}{1 - 3 \cdot \frac{5}{12} \cdot 0,15} \cdot \frac{1}{0,85} = 39,8Н.$$

За паспортом верстату електромагнітний силовий привід розвиває зусилля від 100 до 500 Н. Таким чином, при мінімальному зусиллі електромагнітного приводу верстата запас надійності становитиме 2,5 рази, що забезпечує надійне закріплення деталі у пристрої.

3.1.5 Опис конструкції та роботи пристрою

Схема пристрою показана на рис. 3.2.

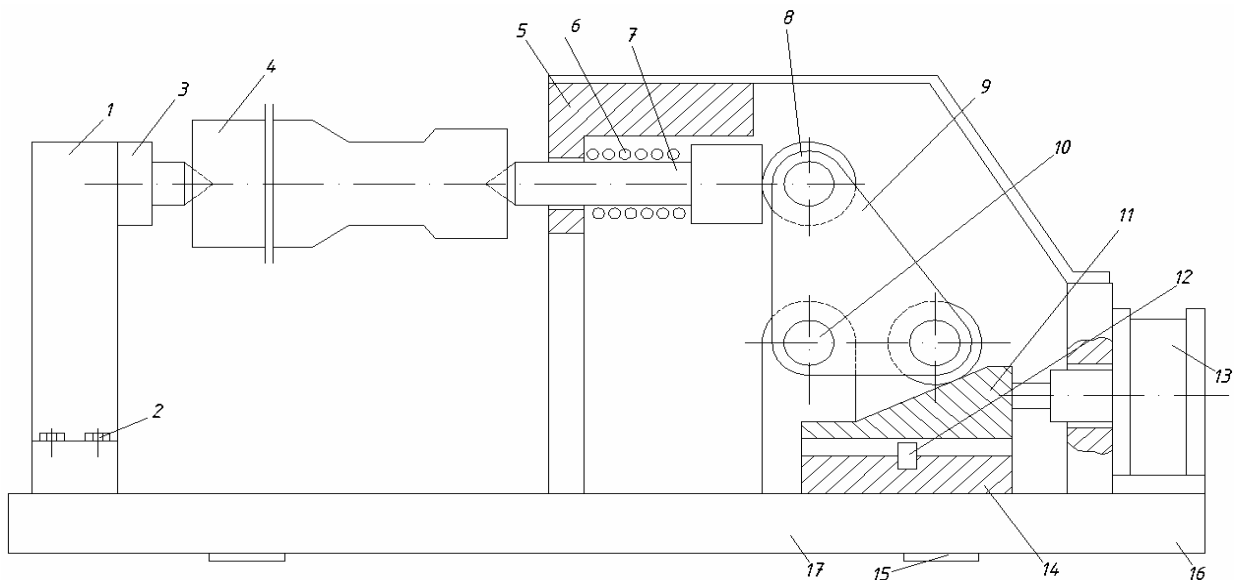


Рисунок 3.2 - Приспособлення для фрезерування двох пазів

1 – стінка, 2 – болт, 3 – центр нерухомий, 4 – деталь, 5 – корпус, 6 – пружина, 7 – шток, 8 – ролик, 9 – важіль, 10 – вісь, 11 – клин, 12 – штифт, 13 – пневмоциліндр, 14 – направляюча, 15 – шпонка

Пристрій складається з плити 16, до якої болтами 2 прикріплена стінка 1. На ньому закріплюється нерухомий центр 3. Корпус 5, в якому розташована пружина 6 і штовхач 7 прикріплений до плити 16. Коли в пневмоциліндр 13 подається повітря, він штовхає клин 11, який рухається по напрямній 14. Для точного ходу клина служить штифт 12, по яким ковзає паз клина. Під дією клина 11 переміщується важіль 9. До важеля на осях 10 прикріплені 2 ролики 8, які ковзають по поверхні клина і штока. Важіль обертається навколо осі 17. Після завершення механічної обробки клин відходить, а пружина відводить рухомий центр від деталі. На верстаті столу пристосування виставляється по шпонкових пазах шпонками 15.

1.1 Пристрій для контролю відхилення від симетричності пазу

Проектування пристосування призначене для контролю відхилення від симетричності шпонкового пазу .

Деталь у пристосуванні базується на двох установочних призмах 23 зовнішніми циліндричними поверхнями $\varnothing 40$ мм і на базі – торцевою плоскою поверхнею. Затиск створений від пневмоциліндра через шток 15 , діафрагму 21 , втулку 14 прихватом 12 по зовнішній циліндричній поверхні заготовки $\varnothing 60$ мм.

Висновок. Спроектовано пристрій для фрезерної операції. Даний пристрій використовується при виконанні вертикально-фрезерної операції 045 на вертикально – фрезерній верстаті з ЧП К. VM 1304 Н . Проведено розрахунок параметрів силового приводу, сили затиску, розрахунки на точність. Дано опис роботи пристрою та конструкції.

4 НАУКОВА ЧАСТИНА

4.1. Математична модель формоутворення мікропрофіля поверхні

З існуючих досліджень «вивчення мікрорельєфу напиленого матеріалу, відомо, механізм формоутворення поверхні матеріалу поєднує в собі процеси мікросколювання та локального об'ємного руйнування»[12]. «В зоні контакту при введенні інструмента в оброблюваний матеріал виникають напруги, що призводять до виникнення мікротріщин. Дефекти будови напиленого матеріалу (пори та різноманітні включення) є концентраторами напруг. При формуванні мікропрофіля поверхні в процесі обробки мікротріщини поширюються між ними» [16].

Керуючись цим, висунуто основне допущення математичної моделі про те, що «мікрорельєф оброблюваної поверхні формується в результаті розвитку мікротріщин між порами матеріалу, що знаходиться в полі дії максимальних напруг, які поширюються на певну глибину Δt відносно профілю копіювання зерен. При цьому, якщо при введенні зерна в заготовку в межах глибини Δt знаходяться пори матеріалу, мікропрофіль поверхні формується між порами; якщо в межах глибини Δt пори відсутні, відбувається процес мікросколювання – копіювання порофілю інструмента на профіль заготовки:

$$R_3 < \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} < R_3 + \Delta t,$$

де R_3 – радіус ріжучої частини зерна,

x_i, y_i – координати пори, що бере участь у мікротріщиноутворенні,

x, y – координати центра зерна,

Δt – глибина формування мікрорельєфу поверхні»[10].

«Мікротріщини будуть розвиватись між порами матеріалу в межах глибини формування мікропрофіля поверхні Δt , величина якої залежить від ряду факторів (глибини різання t , зернистості Z , твердості $HВ$, межі міцності σ_b , та ін.)»[11](рис. 4.1).

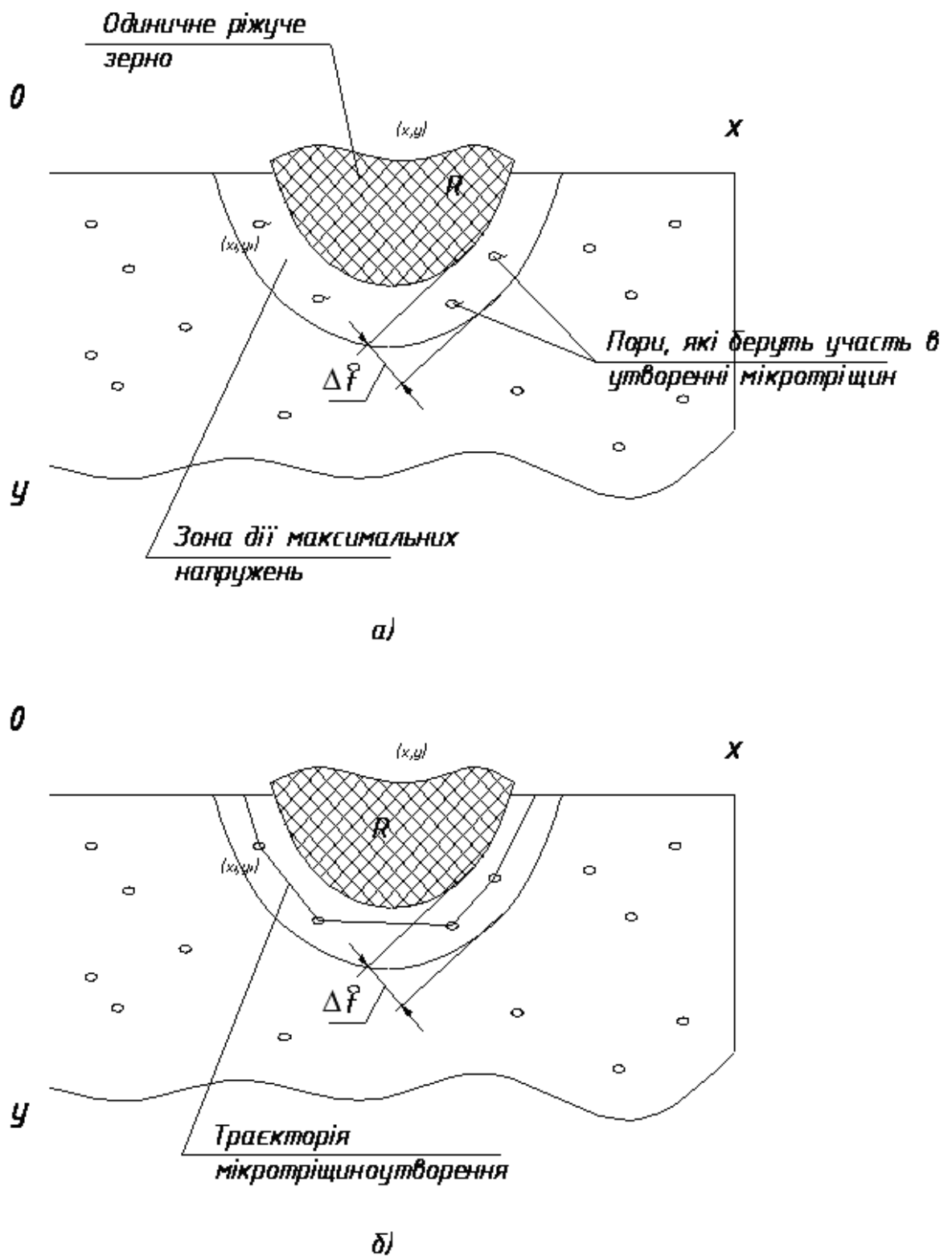


Рисунок 4.1 - Схема мікротріщеноутворень при різанні зерном:

а) зародження мікротріщин, б) розвиток мікротріщин

«При накладанні зерен шліфувального круга на оброблювану поверхню, якщо в зоні дії максимальних напружень знаходяться пори напиленого матеріалу, то мікрорельєф поверхні буде формуватись між цими порами (процес локального об'ємного руйнування). Якщо в зону дії максимальних напружень пори не потрапляють, то буде мати місце процес мікрорезання (копіювання профілю інструмента на профіль деталі)»[12].

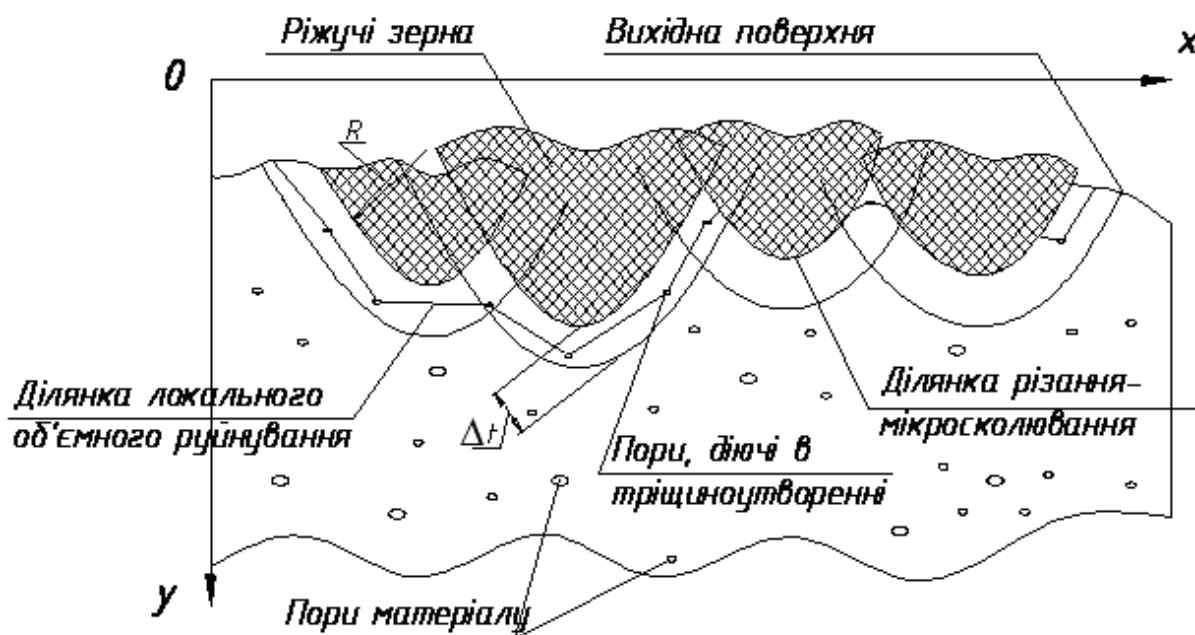


Рисунок 4.2 - Розрахункова схема взаємодії ріжучих зерен з оброблюваним напиленим матеріалом

Керуючись цим, була розроблена математична модель формоутворення поверхні в процесі абразивної обробки, імітаційний підхід якої полягає в наступному:

- профіль оброблюваної поверхні деталі формується в процесі різання-мікрорезання і локального об'ємного руйнування в матеріалі при взаємодії інструмента та заготовки;
- в процесі локального об'ємного руйнування (утворення мікротріщин) беруть участь макродефекти – пори, мікропрофіль поверхні формується між порами, що знаходяться на певній глибині від траєкторії введення ріжучих зерен (глибина формування мікрорельєфа поверхні Δt);

- координати пор, що беруть участь в утворенні мікротріщин, задовільняють поставлену умову;
- в процесі мікрорізання-сколювання (безпосередньо різання) відбувається копіювання профілів зерна на вихідну поверхню заготовки;
- координати ріжучих зерен та їх профіль є випадковими параметрами, які залежать від геометрії зони контакту, режимів різання і характеристик інструмента;
- координати пор є випадковими параметрами і розподіляються за нормальним законом розподілу.

4.2. Імітаційне моделювання шліфування напиленої деталі

Розглянемо розрахунок параметрів зони контакту для схеми плоского шліфування. Геометрія зони контакту інструмента і заготовки показана на рис. 4.3 [12]. «При проходженні заготовкою зони контакту з ріжучим кругом, глибина різання $t_N = A_1 B_1$ змінюється. Миттєве значення глибини t_N визначається кутом α_N , який змінюється при плоскому шліфуванні від α до 0» [12] (рис. 4.3).

З трикутника AOA_1 знаходиться кутова величина зони контакту α :

$$\cos \alpha = \frac{OA_1}{OA} = \frac{R - t_\phi}{R} .$$

При моделюванні, значення кутів α_N отримується генерацією випадкових величин. Їх кількість рівна кількості зерен N .

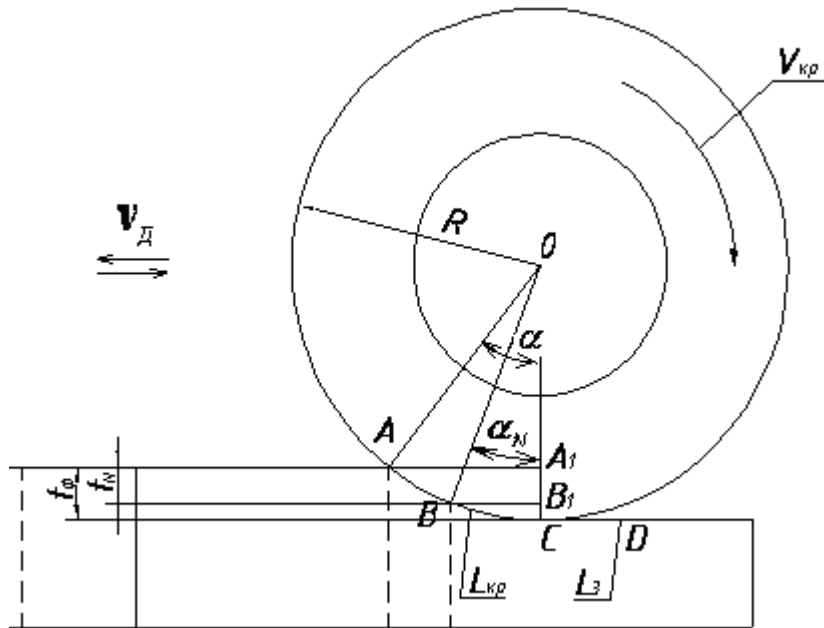


Рисунок 4.3 - Схема зони контакту шліфувального круга і заготовки

«Для визначення глибини різання t в залежності від значення кутів α_N

розглянемо трикутник BOB_1 , в якому $OB_1 = OA_1 + t_N = R \cdot \cos \alpha + t_N$:

$$\cos \alpha_N = \frac{OB_1}{OB} = \frac{R \cdot \cos \alpha + t_N}{R}.$$

Звідси:

$$t_N = R \cdot \cos \alpha_N - R \cdot \cos \alpha = R \cdot (\cos \alpha_N - \cos \alpha).$$

Розрахунок кількості зерен, що знаходяться в зоні контакту круга і заготовки, відбувався виходячи з об'єму круга, в якому містяться ці зерна»[12].

Заготовка знаходиться в контакті з кругом в весь час поки шліфувальний круг повертається на кут від 0 до α . За цей час заготовка переміщується на відстань

$L_3 = CB$ зі швидкістю заготовки v_D :

$$v_{кр} \cdot L_3 = v_D \cdot L_{кр}.$$

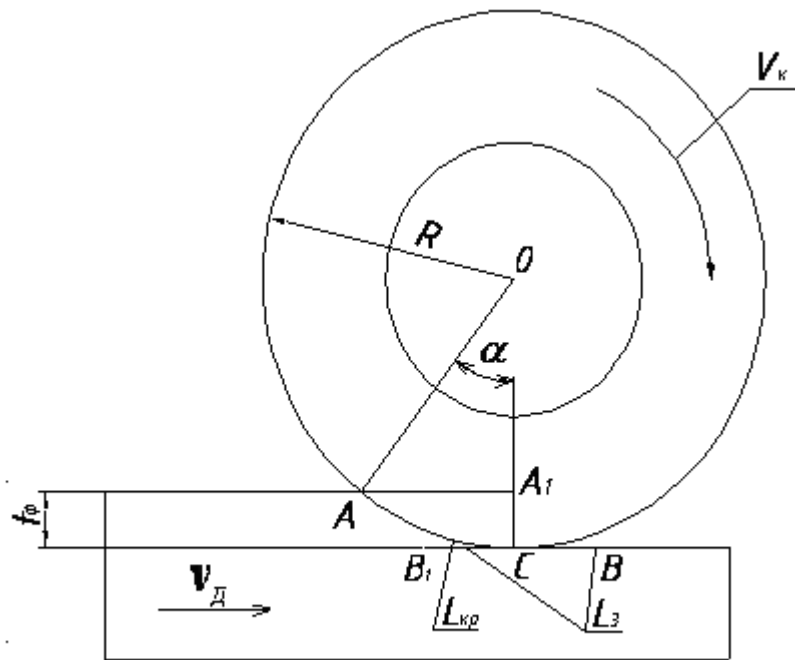


Рисунок 4.4 - Схема визначення довжини контакту круга і заготовки при шліфуванні напиленого матеріалу

Довжина дуги шліфувального круга, що знаходиться в зоні контакту, визначається:

$$L_{KP} = R \cdot \alpha^{(\text{радіан})},$$

де α – кутова величина зони контакту;

L_3 – визначається за формулою:

$$L_3 = \frac{v_D \cdot L_{KP}}{V_{KP}}.$$

«В моделі плоского шліфування при зустрічному шліфуванні, коли швидкість обертання круга V_{KP} і швидкість заготовки v_D напрямлені назустріч одна одній, сумарна довжина контакту круга і заготовки рівна:

$$L = L_{KP} + L_3 \gg [12]$$

Потім розглядається ділянка круга висотою, рівною діаметру зерна $d_{зер}$ шириною рівною базовій довжині $L_{баз}$, довжиною рівною загальній довжині контакту шліфувального круга L_{KP} і заготовки L_3 (рис. 4.5).

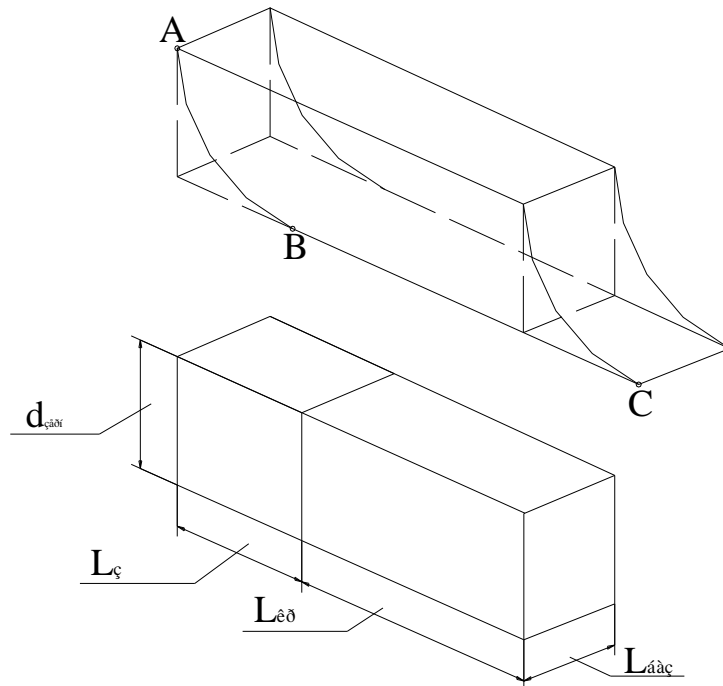


Рисунок 4.5 - Схема розрахунку об'єму круга, що містить зерна, які беруть участь в обробці, за один прохід

Незважаючи на кривизну даної ділянки, розраховується об'єм круга, що бере участь в обробці за час повороту на кут α , мкм³:

$$V_K = L \cdot L_{баз} \cdot d_{зер}.$$

В розглянутому об'ємі круга V_K знаходиться N зерен. Припущенням моделі є те, що зерно має форму шара. «Розподіл розмірів абразивних зерен підпорядковується нормальному закону, діаметр зерна $d_{зер}$ приймається як рівний середньому діаметру зерен основної фракції заданої зернистості. Об'ємне розміщення зерен в крузі визначається його структурою»[12].

«Кількість зерен N визначається відношенням знайденого об'єма круга до об'єму абразивного зерна. Для знаходження об'єму абразивного зерна $V_{зер}$ використовується формула для знаходження об'єму кулі:

$$V_{зер} = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d_{зер}^3 ,$$

$$N = \frac{V_K \cdot f_{зер}}{V_{зер} \cdot 100\%} ,$$

де $V_{зер}$ – об'єм абразивного зерна, мкм³,

$f_{зер}$ – об'ємне розміщення зерен в крузі, що відповідає структурі круга, %»[15].

Таким чином, враховуючи дані залежності, кількість зерен, що беруть участь в обробці за час повороту круга на кут α , знаходиться:

$$N = 6 \frac{R \cdot \alpha^{rad} \cdot L_{баз} \cdot f_{зер} \left(1 + \frac{V_D}{V_{KP}}\right)}{\pi \cdot d_{зер}^2 \cdot 100} .$$

де $f_{зер}$ – об'ємне розміщення зерен в крузі, що відповідає структурі круга, %; V_{KP}

– швидкість обертання круга, м/с;

V_D – швидкість заготовки, м/с;

$d_{зер}$ – діаметр зерна, мм;

α – кут зони контакту інструмента і заготовки,

R – радіус шліфувального круга, мм.

Опис параметрів зерен полягає у описі його частини профіля, який безпосередньо задіяний у різанні. Можливості сучасної техніки дозволяють моделювати зерна шліфувального круга з врахуванням випадкового профіля. Однак для практичних розрахунків можна обмежитись моделюванням вершини профіля зерна як круга випадкового радіуса. В даній моделі розподілення радіусів вершин зерен r_0 змінюється в діапазоні r_{0min} до r_{0max} , і підпорядковується нормальному закону.

«Глибина різання кожним зерном також є випадковою величиною, що змінюється в діапазоні від 0 до t_ϕ в залежності від поточного кута α_N . Розподіл величини глибини різання задається згідно нормального закону розподілу.

Процес формування риски від абразивного зерна є центральним при імітаційному моделюванні. При цьому з напиленого матеріалу вирізається профіль із урахуванням випадкових параметрів зерна, випадкової глибини різання (кут α_N), випадкового положення зерна на поверхні круга в напрямі паралельному осі інструмента»[15] (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 - Випадкові величини моделі та їх розподіл

Величина	Опис	Діапазон вимірювання	Закон розподілу
α_N	Кутова величина зони контакту	$-\alpha \dots \alpha$	Рівномірний
r_0	Радіус заокруглення зерна	$r_{0\min} \dots r_{0\max}$	Нормальний
t_i	Глибина різання зерном	$0 \dots t$	Нормальний
x_i	Розміщення по поверхні інструмента	$0 \dots L_{\text{баз}}$	Рівномірний

Шліфувальні зерна багатогранні неправильної форми і мають округлі вершини. За абсолютною величиною ця округлість невелика, але її завжди потрібно враховувати, так як при мікрорізанні товщини шарів, що знімаються окремими зернами, співмірні з величиною радіуса округлості зерна.

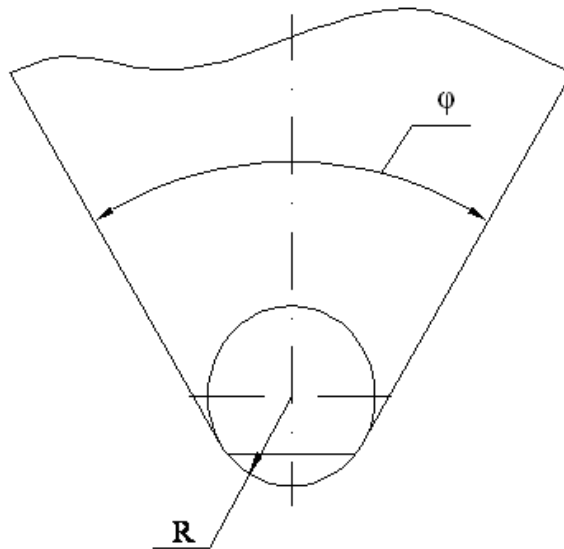


Рисунок 4.6 - Схема виступу абразивного зерна

«При описі моделі абразивного зерна, найчастіше використовують шар з конічними виступами, що закінчуються сферичними сегментами. Радіус заокруглення вершини зерна r_0 , плоский кут конуса ϕ , та його найбільший габаритний розмір B , який визначається номером зернистості Z , являються основними характеристиками, що описують геометрію абразивного зерна (рис. 4.6).

За експериментальними даними, представленими в роботах ряду авторів»[16] був побудований графік залежності радіуса при вершині зерна r_0 від зернистості Z (рис. 4.7).

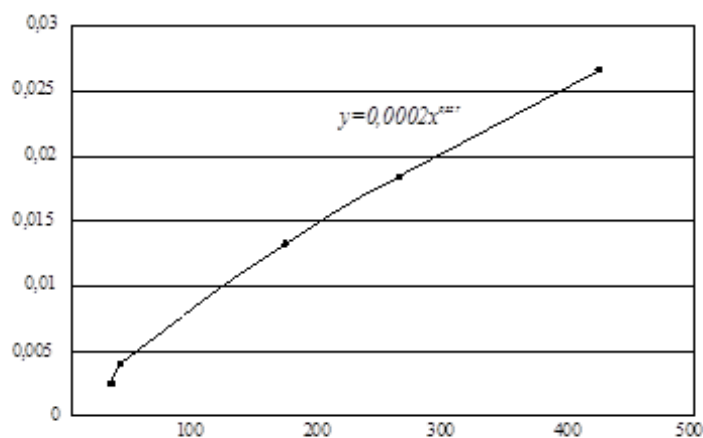


Рисунок 4.7 - Залежність радіуса при вершині зерна від зернистості

Апроксимація проводилась в степеневую залежністю методом найменших квадратів. Середнє відносне відхилення від експериментальних значень при

аппроксимації в степеневу залежність рівне 6,75. Аппроксимація проводилась на основі даних, наведених у таблиці 2.2, роботи [16]. Отримана експериментальна залежність має вигляд:

$$r_0 = 0,00023^{0,827},$$

де Z – зернистість абразивного матеріалу, мкм,

r_0 – величина радіуса при вершині зерна, мм.

Таблиця 4.2 - Залежність між зернистістю Z і радіусом при вершині зерна r_0

Зернистість Z , мкм	Радіус при вершині зерна r_0 , мм
400	0,028
250	0,019
160	0,013
30	0,0038
28	0,0027

Визначимо розмір зерен, що беруть участь у обробці. Згідно ГОСТу 3647–80, в «кожному розмірі зернистості міститься відповідний діапазон розмірів зерен, що характеризує зерновий вміст. Так як зернистість для електрокорунда шліфпорошку задається числом, яке відповідає розміру сторони комірки верхнього сита, а значення попереднього розміру – розміру сторони комірки нижнього сита основної фракції (наприклад, 20, 16), відповідно за формулою розраховується мінімальний радіус при вершині зерна $r_{o\min}$ і максимальний $r_{o\max}$.

Розподіл величин $r_{o\min}$ та $r_{o\max}$ в моделі, підпорядковується нормальному закону в діапазоні $Z_{\min} \dots Z_{\max}$, що відповідає розподілу розмірів зерен в реальному крузі» [16].

Фактична глибина різання t_ϕ визначається на основі рівняння балансу преміщень в технологічній системі. При цьому модель враховує профілограму поверхні на основі фізико-механічних властивостей напиленого матеріалу, за якою

визначається зняття матеріалу Δr з врахуванням його приросту Δt_x відносно заданої глибини різання. Таким чином, з врахуванням технологічних параметрів операції, особливостей обробки напилених матеріалів і їх фізико-механічних параметрів, розраховується фактична глибина різання t_ϕ .

4.3. Алгоритм математичної моделі

Для того аби розрахувати профілограму оброблюваної поверхні необхідно «врахувати механізм локального об'ємного руйнування при абразивній обробці напиленого матеріалу, в результаті якого величина знятого матеріалу може перевищувати задану глибину різання. В процесі шліфування, при копіюванні профілів зерен на вихідний профіль заготовки, шорсткість поверхні формується на певній глибині Δt між лінією копіювання профіля інструмента та її еквідистантою»[14].

Було проведено експериментальні дослідження по шліфуванні напиленого матеріалу, отриманні результати середньоарифметичного профіля поверхні Ra (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 – Дані для розрахунку залежності глибини формування мікропрофіля поверхні Δt при шліфуванні

Матеріал	Властивості поверхні (середнє значення)			Ra, мкм	Δt , мкм
	HВ, МПа	σ_b , МПа	θ , %		
ПГ-12Н-01	69,5	260	5	0,41	1,21
ПГ-12Н-01	67,4	236	10	0,49	1,25
ПГ-12Н-01	51,7	160	15	0,64	1,35
ПГ-12Н-01	49,9	104	20	0,81	1,45

Представлена таблиця 4.3 являються вихідними даними для визначення залежності глибини формування мікропрофіля поверхні Δt від фізико-механічних властивостей матеріалу. За представленими вихідними даними були побудовані

точні діаграми залежності Δt від твердості $\Delta t = f(HB)$, від межі міцності $\Delta t = f(\sigma_b)$, від пористості матеріалу $\Delta t = f(\theta)$.

Отримані на основі експерименту розрахункові точки залежності Δt від твердості HB апроксимовані за допомогою лінії тренда – експоненційної функції:

$$y = 3,7855e^{0,0024x}$$

Розрахункові точки залежності Δt від межі міцності σ_b апроксимовані за допомогою лінії тренда – степеневої функції:

$$y = 7,8734x^{-0,0998x}$$

Розрахункові точки залежності Δt апроксимовані за допомогою лінії тренда – функції полінома другої степені:

$$y = -0,0364x^2 + 0,6786x + 2,316$$

Наступним кроком після побудови залежностей Δt від твердості $\Delta t = f(HB)$ від межі міцності $\Delta t = f(\sigma_b)$, від пористості матеріалу $\Delta t = f(\theta)$ визначення регресійної залежності:

$$\Delta t = f(HB, \sigma_b, \theta).$$

Для перегляду регресійної залежності 5 використовується мультиплікативний вплив факторів, яке найчастіше використовується при побудові залежностей в практиці технології машинобудування:

$$\Delta t = f(\Phi_1) \cdot f(\Phi_2) \cdot f(\Phi_3) = f'(HB) \cdot f'(\sigma_b) \cdot f'(\theta) = a_0 e^{a_1 HB} \cdot a_2 \sigma_b^{a_3} \cdot (a_4 + a_5 \theta + a_6 \theta^2);$$

Методом найменших квадратів були розраховані коефіцієнти регресійної залежності для шліфування. Максимальна відносна похибка розрахунку склала менше 10%. Середня відносна похибка склала 3,28%.

Отримана формула дозволяє враховувати локальне об'ємне руйнування матеріалу, яке супроводжує процес абразивної обробки, в залежності від фізико-механічних властивостей матеріалу:

$$\Delta t = 0,88e^{0,0075 HB} (1,51 + 4,34\theta - 0,24\theta^2) \cdot 0,12\sigma_b^{0,1275}$$

Алгоритм імітаційного моделювання представлено на рисунку 4.8, початковими параметрами є:

- режими різання;
- геометричні параметри інструмента та заготовки;
- характеристика інструмента (зернистість, зв'язка, номер структури);
- глибина формування мікрорельєфу поверхні Δt .

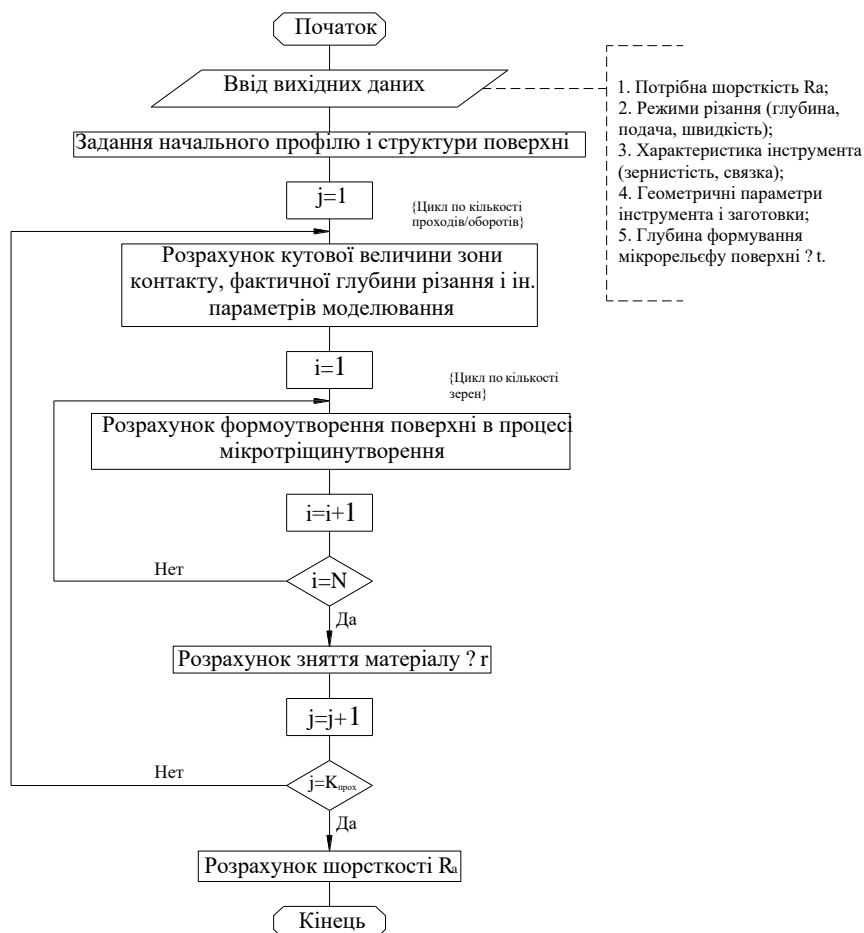


Рисунок 4.8 – Алгоритм математичної моделі

Запропонований алгоритм розрахунку мікропрофіля поверхні при взаємодії інструмента і напиленого матеріалу в процесі шліфування реалізований у вигляді програмного забезпечення.

Алгоритм (рис. 4.8) показує послідовність моделювання формування мікрорельєфа оброблюваної поверхні.

Результатом моделювання є розрахунок профіля оброблюваної поверхні, за яким визначають висотні і крокові параметри шорсткості поверхні (рис. 4.9).

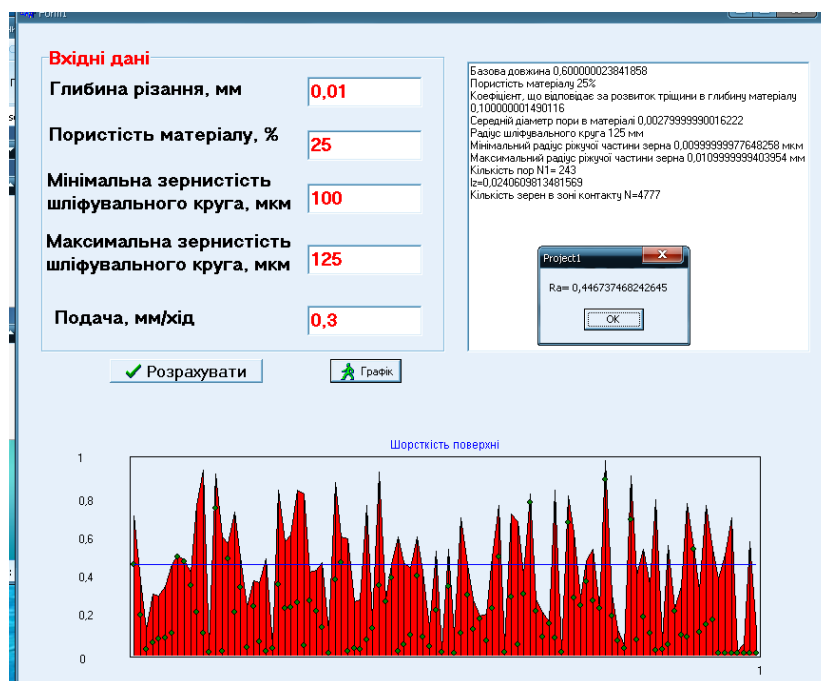


Рисунок 4.9 – Вікно програми

Висновки:

1. Створена імітаційна модель формоутворення поверхні деталі при шліфуванні на основі механізму взаємозв'язку абразивного інструмента і заготовки з врахуванням технологічних параметрів операції, особливостей обробки напилених матеріалів і їх фізико-механічних властивостей.

2. Розглянуті розмірні зв'язки для вивчення механізму формоутворення поверхневого шару при шліфуванні напиленого матеріалу при взаємодії інструмента та заготовки. Побудова розмірних ланцюгів технологічних систем дозволяє розкрити розмірні зв'язки, що виникають в процесі виготовлення деталі, встановити механізм формування її точнісних параметрів і визначити вплив елементів розмірного ланцюга на неточність замикаючої ланки.

3. Розроблена математична модель дає можливість прогнозувати основні закономірності формування висотних параметрів мікрорельєфу при шліфуванні матеріалів з врахуванням фізико-механічних властивостей напиленого матеріалу.

ВИСНОВКИ

Встановлення основних закономірностей, що зв'язують геометричні і фізичні параметри рельєфу поверхні з параметрами процесу різання і критеріями якості оброблюваної поверхні, дозволяє перейти до нормування і контролю основних характеристик рельєфу. Для прогнозування якості поверхневого шару деталей необхідно вивчити вплив стану параметрів круга на формування поверхневого шару напилених поверхонь деталі:

1 Всі дефекти, що розглядаємо відносяться до поправних. Тобто дані дефекти можливо і доцільно ремонтувати.

2 Проведено та технологічно обґрунтовано методи відновлення поверхонь деталі. Вибрано технологічні бази. Визначено кількість переходів та операцій відновлення поверхонь. Сформовано маршрут технологічного процесу відновлення деталі. Розраховано припуски та граничні розміри на поверхню $\varnothing 45k6^{+0,021}_{+0,002}$. Проведено розрахунок та призначено режими нанесення покриття. Вибрано та обґрунтовано обладнання і джерела живлення. Проведено нормування технологічного процесу.

3 Встановлення основних закономірностей, що зв'язують геометричні і фізичні параметри рельєфу різальної поверхні з параметрами процесу різання і критеріями якості оброблюваної поверхні, дозволяє перейти до нормування і контролю основних характеристик рельєфу. Для прогнозування якості поверхневого шару деталей необхідно вивчити вплив стану параметрів круга на формування поверхневого шару напилених поверхонь деталі.

4 Створена імітаційна модель формоутворення поверхні деталі при шліфуванні на основі механізму взаємозв'язку абразивного інструмента і заготовки з врахуванням технологічних параметрів операції, особливостей обробки напилених матеріалів і їх фізико-механічних властивостей.

5 Розглянуті розмірні зв'язки для вивчення механізму формоутворення поверхневого шару при шліфуванні напиленого матеріалу при взаємодії інструмента та заготовки. Побудова розмірних ланцюгів технологічних систем дозволяє розкрити розмірні зв'язки, що виникають в процесі виготовлення деталі,

встановити механізм формування її точнісних параметрів і визначати вплив елементів розмірного ланцюга на неточність замикаючої ланки.

6 Розроблена математична модель дає можливість прогнозувати основні закономірності формування висотних параметрів мікрорельєфу при шліфуванні матеріалів з врахуванням фізико-механічних властивостей напиленого матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гарнець В. М. Механічна обробка заготовок різанням: навч. посібник / В. М. Гарнець [та ін.]. – К. : КНУБА, 2008. – 164 с.
2. Якімов О.В. Технологія машино- та приладобудування: навчальне видання / О.В. Якімов, В.І. Марчук. - Луцьк, 2005. – 710с.
3. Божидарнік В., Григорєва Н., Шабайкович В. Технологія виготовлення виробів: навчальний посібник / В. Божидарнік, Н. Григорєва, В. Шабайкович. – Л.: Надстиря, 2006. – 592с.
4. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А. Технологія машинобудування : підручник / Мельничук П.П., А.І. Боровик, П.А. Лінчевський. – Житомир: ЖДТУ, 2005.
5. Інноваційні підходи в підготовці магістрів з прикладної механіки : навч. посіб. / Т. Є. Божко, Б. П. Валецький, Л. М. Самчук, Т. І. Четвержук . – Луцьк : Вежа-Друк, 2024. – 324 с.
6. Братан С. М. Технологічні основи забезпечення якості і підвищення стабільності високопродуктивного чистового та тонкого шліфування : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня докт. техн. наук : спец. 05.02.08 "Технологія машинобудування" / С. М. Братан. – Одеса, 2006. – 35 с.
7. Лавріненко В. І. Наукові основи шліфування інструментальних матеріалів із спрямованою зміною характеристик контактних поверхонь : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня докт. техн. наук : спец. 05.03.01 "Процеси механічної обробки, верстати і інструменти" / В. І. Лавріненко. – Київ, 2000. – 36 с.
8. Шепелев А. О. Інтенсифікація процесів шліфування інструментальних матеріалів кругами із синтетичних алмазів і кубічного нітриду бора : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня докт. техн. наук : спец. 05.03.01 "Процеси механічної обробки, верстати і інструменти" / А. О. Шепелев. – Харків, 2002. – 36 с.

9. Следнікова, О.С. Підвищення ефективності шліфування торців орієнтаціями деталей та профільованих кругів: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / О.С. Следнікова. - Чернігів, 2017. - 171 с.
10. Морочко В.В. Підвищення ефективності шліфування циліндричних, поверхонь орієнтованим кругом, заправленим з різними подачами на робочій та калібрувальній ділянках: дис. канд. техн. наук: спец. 05.03.01 / Морочко Володимир Вікторович; [Національний університет «Чернігівська політехніка»]. – Чернігів, 2022. – 158 с.
11. Kalchenko Volodymyr, Kalchenko Vitaliy, Kolohoida Antonina, Yeroshenko Andrii, Kalchenko Dmytro (2022). Building a Model of Dressing the Working Surfaces of Wheels During the Two-Side Grinding of Round End Faces at CNC Machines Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(1 (115)), 86–93, 2022. (Scopus). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252642>.
12. Кальченко В.І. Модульне 3D моделювання процесу двостороннього шліфування торців кругами з конічними калібруючими ділянками / В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, О.С. Следнікова, Д.В. Кальченко // Вісник ТНТУ. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – Вип. № 4 (84). – С. 82-92.
13. Критерії оцінки ефективності шліфування з додатковими проміжними правками/Степанов М.С., Іванова М.С., Літовченко П.І., Іванова 109 Л.П.// Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. 2022 – С. 137.
14. Determination of parameters of cylindrical grinding with additional intermediate dressing/ Mykhaylo Stepanov, Larysa Ivanova, Petro Litovchenko, Maryna Ivanova, Yevheniia Basova// Advances in Design, Simulation and Manufacturing II: Proceedings of the 2nd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2019, June 11-14, 2019, Lutsk, Ukraine, p. 330-340
15. Федорович В.О. Розробка наукових основ та способів практичної реалізації управління пристосованістю при алмазному шліфуванні надтвердих матеріалів: автореф. дис. на здобут. наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти» / В.О. Федорович. – Харків, 2002.- 34 с.

16. Полтавец В. В. Модель зерна на робочій поверхні круга при алмазному шліфуванні / В. В. Полтавец, П. Г. Матюха // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк : ДонГТУ, 2000. – № 13. – С. 94–98.

17. Zabolotnyi, O., Bozhko, T., Machado, J., Yarmoliuk, S., Zaleta, O. (2021). Influence of the Cutting Temperature on the Surface Layer Quality When Grinding Sintered Porous Materials. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham / URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_45.

18. Zabolotnyi, O., Bozhko, T., Halchuk, T., Zaleta, O., Cagáňová, D. (2022). Investigation of the Surface Layer Hardness When Grinding Sintered Porous Workpieces. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Rauch, E., Peraković, D. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham / URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-06025-0_35