

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**магістр**

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розробка технологічного процесу виготовлення опорної планки  
та дослідження температури шліфування**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МП<sub>м</sub>-61  
спеціальності

131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

Білейчук Р.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Пилипець М.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Дячун А.Є.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)



## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>К.т.н., доц. Ткаченко І.Г.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Д.т.н., проф. Стадник І.Я.</i>		

7. Дата видачі завдання 16 листопада 2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналітична частина</i>	16.11-20.11	
2	<i>Науково-дослідна частина</i>	21.11-30.11	
3	<i>Технологічно- конструкторська частина</i>	01.12-07.12	
4	<i>Проектна частина</i>	07.12-.11.12	
5	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	12.12-20.12	
6	<i>Графічна частина</i>	20.11-20.12	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Білейчук Р.В.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Пилипець М.І.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Білейчук Р.В. Розробка технологічного процесу виготовлення опорної планки та дослідження температури шліфування. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 131 Прикладна механіка. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, 2023.

Об'єктом дослідження є опорна планка та технологічний процес її виготовлення.

Предметом дослідження є параметри процесу виготовлення опорної планки.

Метою цієї роботи є дослідження температури шліфування, а також розробка технологічного процесу виготовлення опорної планки.

На основі досліджень, проведених у цій роботі, а також отриманих за час навчання знань було розроблено технологічний процес виготовлення опорної планки з урахуванням температури, що виникає на операції шліфування. Розрахунок температури показав, що можна використовувати алмазний круг.

Проведено аналіз передніх кутів уздовж ріжучої кромки ступінчастого свердла, на підставі якого прийнято рішення про підточування кромки.

**Ключові слова:** планка, процес, операції, шліфування, параметри, температура.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	9
1.1 Область застосування та умови виготовлення опорної планки ..	9
1.2. Технологічне підготвлення виробництва планки .....	11
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....	16
2.1 Аналіз температури шліфування .....	16
2.2 Аналіз вихідних даних .....	17
2.3 Розрахунок умов шліфування .....	20
2.3.1 Аналіз розподілу розмірів зерен шліфувального порошку за фракціями	20
2.3.2 Розрахунок робочого шару шліфувального круга .....	21
2.3.3 Розрахунок температури шліфування .....	23
3. ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	29
3.1 Розробка технологічного процесу виготовлення опорної планки .....	29
3.1.1 Розробка технологічного маршруту виготовлення планки .....	29
3.1.2 Вибір технологічних баз .....	30
3.1.3 Вибір засобів технологічного оснащення .....	32
3.2 Проектування спірального східчастого свердла .....	35
4. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА .....	39
4.1 Проектування консольного скальчастого кондуктора .....	39
4.2 Розрахунок затискного механізму та силового приводу .....	43
4.3 Принцип роботи скальчастого кондуктора з механізованим приводом .....	45
4.4 Визначення стратегії механічної обробки планки опорної на операціях .....	46
4.4.1 Розрахунок режимів різання та проектування технологічної налагодження на фрезерну операцію N 025 .....	46

4.4.2 Розрахунок режимів різання та проектування технологічного налагодження на свердлильну операцію N 040 .....	49
4.4.3 Розрахунок режимів різання та проектування технологічного налагодження на шліфувальну операцію N 055 .....	50
4.5 Безпека та екологічність технічного об'єкта .....	52
4.3 Технічний контроль якості та виправлення браку .....	
5. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ .....	54
5.1 Безпека в надзвичайних ситуаціях .....	54
5.1.1 Забезпечення екологічної безпеки аналізованого технічного об'єкта .....	54
5.1.2 Організаційно-технічні заходи зниження негативного антропогенного впливу на навколишнє середовище .....	55
5.1.3 Ідентифікація виробничо-технологічних та експлуатаційних професійних ризиків .....	55
5.2 Охорона праці .....	58
5.2.1 Методи та технічні засоби зниження професійних ризиків ...	58
5.2.2 Забезпечення пожежної та техногенної безпеки розглянутого технічного об'єкта .....	60
5.2.3 Розробка технічних засобів та організаційних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки технічного об'єкта .....	61
ВИСНОВКИ .....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	65
ДОДАТКИ .....	68

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Збільшення показників якості та продуктивності праці, а також випуск виробів, порівнянних за характеристиками з еталонами – одне з основних завдань машинобудівного виробництва в умовах ринкової економіки. Для вирішення цих завдань необхідно застосовувати удосконалені за рахунок модернізації технологічного оснащення та верстатного обладнання, процеси виробництва виробів.

Це питання залишається важливим, тому дана тема кваліфікаційної роботи є актуальною, оскільки в ній наведено рішення щодо підвищення продуктивності праці та якості виготовлення опорної планки шляхом модернізації існуючого технологічного процесу.

Для підвищення продуктивності операцій шліфування були використані алмазні круги. Однак ці круги не повинні працювати в режимі, при якому температура різання перевищує температуру алотропного перетворення алмазу на графіт. Застосування високопродуктивних алмазних кіл вимагає оцінки температури шліфування, що було зроблено у дослідницькій частині роботи.

**Метою роботи** є підвищення рівня економічної ефективності та продуктивності виготовлення опорної планки за рахунок використання більш результативних схем обробки, інструментів (алмазні круги) та проектування спеціального різального інструменту (ступінчасте свердло) та пристрої (скальчастий кондуктор).

**Завдання дослідження:** обґрунтувати оптимальні параметри та режими виготовлення планки опорної та провести дослідження температури шліфування.

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес виготовлення планки.

**Предмет дослідження** – параметри та режими роботи обладнання.

**Отримані результати.** Запропоновано технологію виготовлення планки опорної та визначено параметри та режими роботи обладнання, яке виконує основні технологічні операції.

**Практичне значення.** Результати роботи можна застосовувати під час виготовлення деталей.

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра.** Окремі результати роботи доповідались та отримали позитивну оцінку на XII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 2023 р., м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя.

**Публікації.** Часткові результати досліджень за темою магістерської роботи опубліковано в 1 праці: збірник тез XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 2023 р., м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається з вступу, 5 розділів пояснювальної записки, 7 додатків і списку використаних джерел з 23 найменувань. Основний зміст пояснювальної записки виконано на 64 сторінках, має 14 рисунків і 16 таблиць.



## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Область застосування та умови виготовлення опорної планки

Представлена у цій випускній роботі планка опорна використовується як опора для встановлення в індукторі для гартування шийки колінчастого валу.

Спочатку процес виготовлення опорної планки мав характер одиничного виробництва, тобто. використовувалася велика кількість ручних робіт кваліфікованими робітниками, застосовувалося універсальне та інше необхідне обладнання.

У зв'язку зі збільшенням кількості виробів, що випускаються, з'явилася необхідність розробити новий технологічний процес з використанням спеціалізованих пристроїв та ріжучого інструменту, який матиме характер велико-серійного типу виробництва.

На рис.1.1 представлений ескіз опорної планки з номерами поверхонь, а в табл. 1.1 – їх класифікація.

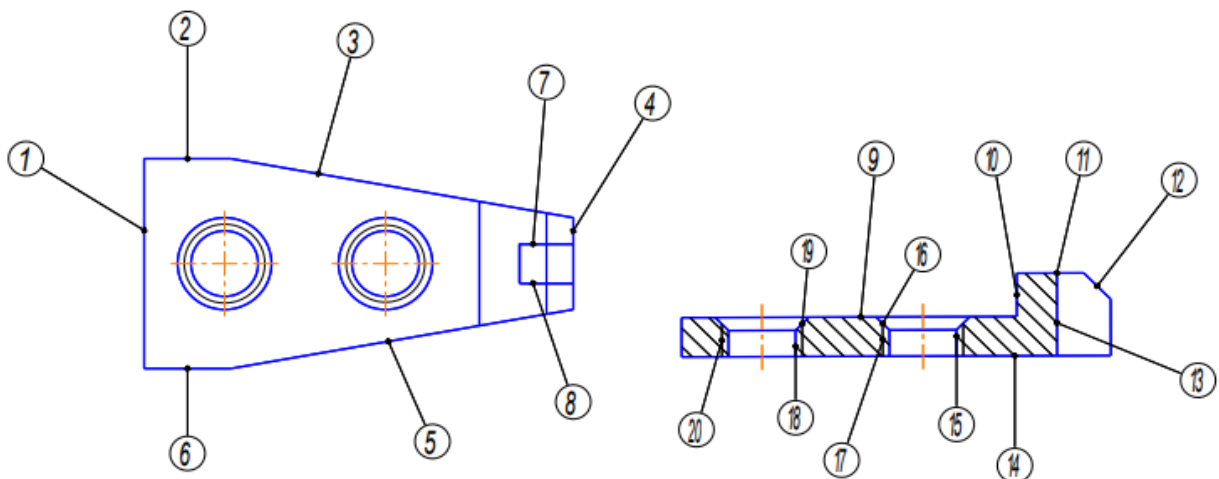


Рисунок 1.1 – Ескіз опорної планки

Матеріал опорної планки – 12Х18Н10Т, матеріал пластини, що впаюється – твердий сплав ВК8

Матеріал опорної планки – сталь 12Х18Н10Т згідно з ДСТУ 19903-74 має такі характеристики, які наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.1 – Класифікація номерів поверхні

Вид поверхні	№ поверхні
Основні конструктивні бази	9, 10, 15, 16, 17, 18, 19, 20
Допоміжні конструктивні бази	7, 8, 9, 10, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20
Технологічні бази	1, 10, 14
Виконавчі	4
Вільні	2, 3, 5, 6, 11, 12

Таблиця 1.2 – Характеристики сталі, %

Марка сталі	C, %	Cr, %	Fe, %	Mn, %	Ni, %	P, %	S, %	Si, %	Ti, %
12X18H10T	≤0,12	17-19,0	Осн.~67	≤2,0	9-11,0	≤0,035	≤0,020	≤0,8	5-С-0,8

Твердість у стані постачання –179 МПа НВ 10 -1.

Матеріал вставної пластини – твердий сплав ВК8 згідно з ДСТУ 3882-74 має такі характеристики, які наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Характеристики сплаву

Марка сплаву	C, %	WC, %
ВК8	До 8	92

Твердість у стані постачання HRA 88.

З'єднання опорної планки та пластини здійснюватиметься високотемпературною пайкою, оскільки вона мінімізує короблення у вузлі тонкостінного виробу.

## 1.2 Технологічне підготовлення виробництва планки

Технологічне підготовлення виробництва є другою стадією технічного підготовлення виробництва, за якої забезпечується повна готовність підприємства до випуску нової продукції із заданою якістю, що, як правило,

реалізується на технологічному устаткуванні з високим технічним рівнем, а також із забезпеченням мінімальних трудових та матеріальних витрат на виробництво.

Загалом, технологічне підготовлення виробництва – це сукупність заходів (технічних рішень), якими забезпечується технологічна готовність виробництва, тобто наявність на підприємстві повних комплектів конструкторської та технологічної документації і засобів технологічного спорядження, необхідних для випуску продукції в заданих обсягах та із встановленими техніко-економічними характеристиками.

На стадії ТПВ остаточно розв'язуються задачі, пов'язані із забезпеченням достатньої технологічності конструкцій, власне:

- технологічне проектування (розроблення технологічних маршрутів і процесів);
- нормуванням (визначення трудомісткості операцій та матеріалоемності об'єктів оброблення);
- конструюванням (оснащення, спеціального і допоміжного устаткування);
- виробництвом (виготовлення спеціального оснащення та необхідного устаткування);
- відпрацюванням та освоєнням виробництва.

Трудомісткість стадії технологічного підготовлення виробництва за відношенням до загальної трудомісткості технічного проекту виробу в одиничному виробництві складає близько 20...25%, в серійному – 50...55%, а у великосерійному і масовому – 60...70% (із зростанням технологічної оснащеності виробництва збільшуються обсяги робіт з ТПВ).

Технологічне підготовлення виробництва передбачає вирішення наступних задач:

- забезпечення достатньо високої технологічності конструкцій виробів (ТКВ);
- проектування технологічних процесів;

- структурний аналіз виробу та складання міжцехових технологічних маршрутів оброблення деталей і складання виробів;
- технологічна оцінка спроможностей цехів;
- розроблення технологічних нормативів;
- виготовлення засобів технологічного спорядження; - відпрацювання технологічного комплексу;
- розроблення форм та методів організації виробничого процесу;
- розроблення методів технічного контролю;
- метрологічне забезпечення;
- скорочення термінів ТПВ.

Технологічного підготовки виробництва складається з наступних основних етапів:

1) розроблення технологічних процесів на основний виріб (процесів виготовлення деталей та складальних одиниць); цей етап включає виконання наступних робіт:

а) відпрацювання конструкції виробу на технологічність (технологічний контроль<sup>1</sup>);

б) розроблення міжцехових технологічних маршрутів (розцехування<sup>2</sup>);

в) розроблення післяопераційних технологічних процесів;

2) проектування засобів технологічного спорядження, засобів механізації та автоматизації технологічних процесів (технологічного спорядження, нестандартного устаткування, оснащення тощо);

3) виготовлення засобів технологічного спорядження, механізації та автоматизації (оснащення та нестандартного устаткування);

4) вивіряння, відпрацювання та впровадження у виробництво запроектованої технології і виготовленого технологічного спорядження; виготовлення пробної та настановної партій;

5) створення нормативної бази (матеріальні, трудові нормативи тощо) для планування та керування виробництвом. Для здійснення робіт з ТПВ на підприємстві має бути комплект технічної документації на виріб (рис. 1.2), насамперед:



Рисунок 1.2 – Структура технологічної документації за основними напрямками використання

- конструкторська документація;
- перелік нових технологічних процесів;
- перелік стандартних вимірювальних засобів кожного робочого місця, включаючи робочі місця вхідного контролювання;
- перелік нестандартної апаратури, необхідної для виготовлення, регулювання і випробувань;
- відомість застосовності покупних комплектувальних виробів (ПКВ).

Послідовність технологічного підготовлення виробництва. Традиційна послідовність виконання етапів технологічного проектування і зміст робіт, здійснюваних на кожному з етапів розроблення документації на стадії конструкторського підготовлення виробництва виробу має наступний склад.

На I етапі технічної пропозиції (П) визначаються базові показники технологічності конструкції виробу, які включаються в технічну пропозицію.

На II етапі ескізного проектування (Е) виробу здійснюється вибір принципових конструкторських і технологічних розв'язків (КТР) для агрегатів та систем виробу, які задовольняють вимогам ТКВ в цілому. Виявляється принципова можливість забезпечення заданих функціональних властивостей зварної конструкції за різними варіантами конструктивного оформлення і оцінюється їх технологічна доцільність.

На всіх етапах проектування зварної конструкції, а також під час відпрацювання технологічності конструктивних рішень технологи працюють спільно з конструкторами, узгоджуючи варіанти КТР.

На III етапі технічного проекту (Т) здійснюється порівняння технологічності конструкцій всіх основних вузлів і найбільш трудомістких деталей виробу, які зазвичай мають розроблятися конструкторами в декількох можливих варіантах.

В разі потреби оцінка ТКВ виконується шляхом розрахунків. Переважно розраховуються трудомісткість виготовлення, матеріалоемність, собівартість, а також інші показники технологічності конструкції.

Якщо оцінюванням ТКВ не вдається однозначно визначити варіант конструкції, який істотно перевершує всі інші, тоді остаточний вибір варіанту здійснюється на підставі врахування саме того показника, який вважається вирішальним.

На IV етапі робочого проектування (РП) опрацьовується прийнятий варіант конструкції виробу. Разом з розробленням повного комплексу конструкторської документації на виріб здійснюється технологічне опрацювання креслеників його вузлів і деталей, тих, що поставляються ззовні, і тих, які мають виготовлятися на підприємстві (одночасно опрацьовуються технічні умови на виріб, вимоги щодо складання, монтажу, випробувань тощо).

Далі ведеться розроблення технологічних процесів виготовлення заготовок, деталей і складальних одиниць виробу. Зокрема вказуються характер оброблення крайок деталей зварних конструкцій, допуски на розміри з урахуванням припусків на подальше механічне оброблення зварного вузла чи виробу.

Важливим показником технологічності зварних конструкцій є матеріалоемність, важливими є питання точності і стабільності розмірів зварних конструкцій. Вирішуються питання впровадження в технологічні процеси універсальних, спеціалізованих і спеціальних засобів технологічного спорядження, які мають забезпечувати зменшення трудомісткості операцій разом із ефективним використанням цього високопродуктивного устаткування.

Під час розроблення робочої технології (рис. 1.3) часто виявляються певні недоліки, пов'язані в основному з вибором матеріалів (здатність до зварювання), з видами заготовок, зварних з'єднань (розміри швів, розкриття крайок), припусків на механічне оброблення, допусків форми і розмірів, методів операцій технічного контролю тощо. За узгодженням з конструкторами необхідні зміни вносяться до конструкторсько-технологічної документації.

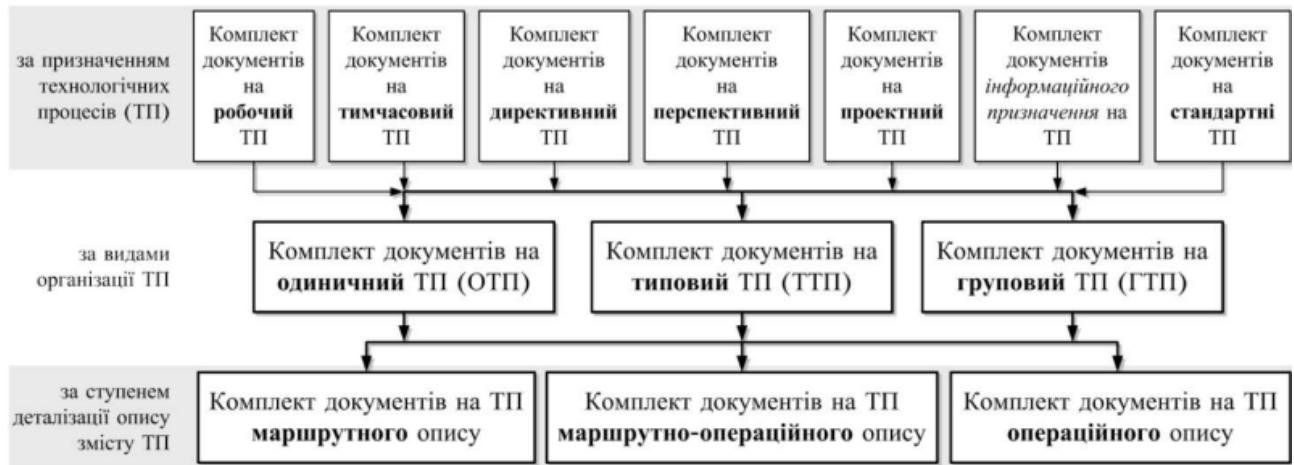


Рисунок 1.3 – Класифікація комплектів документів на технологічні процеси

Разом з розробленням конструкторсько-технологічної документації проводяться роботи щодо:

- розроблення укрупненого класифікатора деталей та вузлів за видами виробництв; - визначення основних характеристик виробництва виробу;
- уточнення техніко-економічних розрахунків;
- уточнення прийнятих на етапі ескізного проектування економічно обґрунтованих конструкторських розв'язків для забезпечення технологічності агрегатів, вузлів та деталей, систем та іншого обладнання виробів;
- уточнення найважливіших характеристик розроблюваного виробу;
- періодичний технологічний контроль робочої конструкторської документації з метою забезпечення технологічності за всім комплексом заданих показників.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Аналіз температури шліфування

Удосконалення технологічних процесів у машинобудівному виробництві веде до потреби у дослідженні ефектів тепла, що з'являються при обробці заготовок механічним шляхом.

Збільшення показників міцності, в'язкості та інших особливостей конструкційних матеріалів, притаманні нинішнім складникам машин.

При цьому, збільшення характеристик режимів обробки ведуть до висновку, що температура процесу – є одна із причин, які обмежують ефективність операцій та надають великий вплив на основні характеристики якості та показника точності виробів.

Тому з'являється необхідність контролю теплових явищ при механічній обробці матеріалів.

Такий вид управління переважно застосовується в велико-серійному автоматизованому виробництві деталей або виробів для збереження сталості технологічного процесу та гарантування необхідної точності параметрів виробу в часі.

Збільшення значення шліфування у нинішньому машинобудуванні відбулося не тільки через зростання стандартів якості продукції, а й впровадженням у виробництво інструментів, обробна здатність яких має вищий рівень.

При аналізі питання появи та розсіювання тепла в процесі шліфування виникає низка труднощів, основне з яких представляє собою недостатня кількість інформації про ефекти, що з'являються при роботі кожного із зерен у зоні контакту круга з деталлю.

Тому в аналізі теплофізики процесу шліфування найчастіше використовують модель, при якій майданчик контакту виробу з інструментом є суцільним джерелом тепла.



Не заперечуючи можливості цього методу вирішення завдань, які описують деякі аспекти теплообміну у процесі шліфування. і ефекти, що відносяться до нього за допомогою інтегралів, можемо сказати, що можна співвіднести опис математичними формулами з дійсною фізикою технологічного процесу.

Якщо взяти за основу те, що зміна форми оброблюваної заготовки відбувається не за допомогою шліфувального круга в цілому, а за допомогою його працюючих зерен, що підкоряється імовірнісним законам розташування на різальній поверхні інструмента.

Саме в цю бік в даний час просуваються дослідження процесу шліфування.

У розділі ми розглянемо аналіз температур шліфування поверхні деталі на кругу з алмазним покриттям ріжучою частини; підберемо необхідну форму круга та його структуру; розрахуємо кількість активних (працюючих) зерен.

## 2.2 Аналіз вихідних даних

Тип шліфування: периферія круга.

Матеріал, що підлягає обробці:

- Високолегована сталь 12Х18Н10Т НВ 179МПа ( $\sigma = 530 \text{ кгс/мм}^2$ );
- Коефіцієнт температуропровідності  $\omega = 0,050 \text{ см}^2/\text{с}$ ;
- Коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 0,054 \text{ кал}/(\text{см}\cdot\text{с}\cdot\text{C}^0)$ .

Шліфувальний інструмент:

- Плоский прямого профілю І 1А1 ДСТУ 16167-90;
- Зовнішній діаметр круга  $D = 200 \text{ мм}$ ;
- Діаметр отвору посадкового  $d = 76 \text{ мм}$ ;
- Висота  $H = 6 \text{ мм}$ ;
- Товщина алмазного шару  $s = 3 \text{ мм}$ .

Геометрія шліфувального круга представлена рис.2.1.

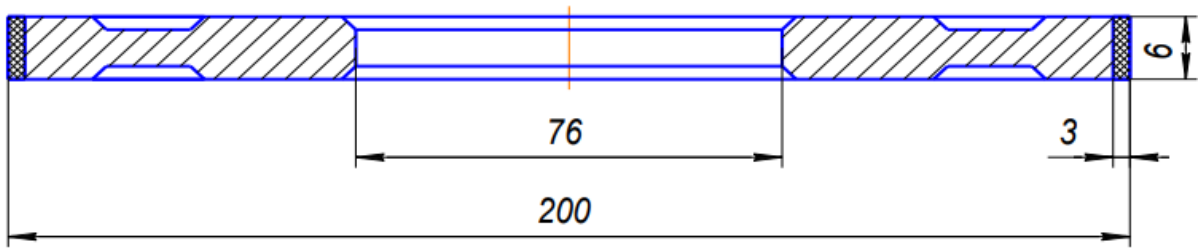


Рисунок 2.1 – Геометрія шліфувального круга

Матеріал різальної частини:

- Алмаз АСР;
- Зв'язування круга металеве МО13;
- Масовий вміст алмазів у каратах в інструменті  
 $P=4,4$  карат/см<sup>3</sup>;
- Коефіцієнт відносного критичного закладення зерен

$$\varepsilon = 0,9911e - 0,018N = 0,828. \quad (2.1)$$

- Коефіцієнт теплопровідності ріжучого зерна  
 $\lambda_p = 0,35$  кал/(см·с·С0);
- Коефіцієнт температуропровідності ріжучого зерна  
 $\omega_p = 0,83$  см<sup>2</sup>/с;

- Зернистість 125/100 N10;
- вміст основної фракції 45%;
- Концентрація K0 = 100%;
- Коефіцієнт тертя  $\mu_2=0,3$ ;
- Міцність на стиск -0,4 кгс.

Форма та розміри зерен алмазного порошку:

- Радіус округлення кромки – 18,7 мкм;
- Кут загострення кромки – 96 град;
- Кількість заокруглень на контурі зерна – 3,7;
- Кількість западин на контурі зерна – 3,4;
- Коефіцієнт ізометричності

$$x/a= 1,34*.$$

\*Коефіцієнт ізометричності – відношення довжини до ширини прямокутника, описаного довкола проекції зерна.

Геометрична форма зерна представлена рис.2.2.

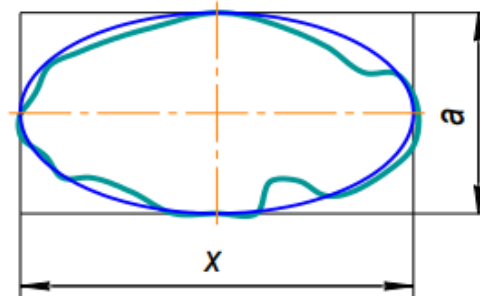


Рисунок 2.2 – Геометрична форма зерна

Обчислимо розмір зерен за ДСТУ 9206-70

$$d = 0,5(x + a) = 0,5(0,8+0,6)=0,7 \text{ мкм}, \quad (2.2)$$

де  $a = 0,6$  мкм;

Значення  $x$  обчислимо, використовуючи коефіцієнт ізометричності.

Коефіцієнт ізометричності визначається за формулою

$$x = 1,34 \cdot a = 1,34 \cdot 0,6 = 0,804 \text{ мкм}. \quad (2.3)$$

Коефіцієнт теплопровідності шліфувального круга визначається за формулою

$$\lambda_k = 0,150 \text{ кал}/(\text{см} \cdot \text{с} \cdot \text{C}^0).$$

Режим шліфування:

- Швидкість шліфування

$$V = 35 \text{ м/с};$$

- Швидкість подачі заготовки

$$V_1 = 10 \text{ м / хв};$$

- Товщина припуску, що знімається  $t = 0,2$  мм;

- Поздовжня подача  $s = 1,8$  мм/дв.хід.

Розміри контактної поверхні шліфувального круга із заготовкою:

- Ширина  $B = 5$  мм;

- Довжина  $L$

$$L = \sqrt{D t} = \sqrt{200 \cdot 0,2} = 6,325 \text{ мм.} \quad (2.4)$$

## 2.3 Розрахунок умов шліфування

### 2.3.1 Аналіз розподілу розмірів зерен шліфувального порошку за фракціями

Масовий розподіл розмірів зерен описаний законом нормального розподілу

$$y_M(x_i) = \frac{1}{\sigma_M \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(x_i - \bar{x}_M)^2}{2\sigma_M^2} \right]; \quad 2.5$$

де:  $x_i$  – поточний розмір;

$\bar{x}_M$  – середньо-ймовірний розмір при розподілі за масою (в надалі називатимемо його середнім);

$\sigma_M$  – середнє квадратичне значення розмірів зерен при розподіл за масою.

На рис. 2.3 зображені ділянки під кривою розподілу.

Вони показують, що відношення між масами зерен у різних фракціях відповідно до ДСТУ 3647-71.

Масову частку у заданих межах  $x_1 = 125$  і  $x_2 = 100$ , припускаючи, що розподіл їх за розмірами нормальний, визначають за формулою

$$P = 0,5 \left[ \Phi \left( \frac{x_2 - \bar{x}_M}{\sqrt{2}\sigma_M} \right) - \Phi \left( \frac{x_1 - \bar{x}_M}{\sqrt{2}\sigma_M} \right) \right]; \quad 2.6$$

де:  $\Phi \left( \frac{x - \bar{x}_M}{\sqrt{2}\sigma_M} \right)$  – функція Крампа.

В результаті аналізу розподілів розмірів зерен шліфпорошка зернистості N10 із вмістом основної фракції 45% отримані формули:

- для середньо-ймовірного розміру

$$\bar{x}_M = \sqrt{x_{нб} \cdot x_{нм}} = \sqrt{125 \cdot 100} = 111,803 \text{ мкм;} \quad (2.7)$$

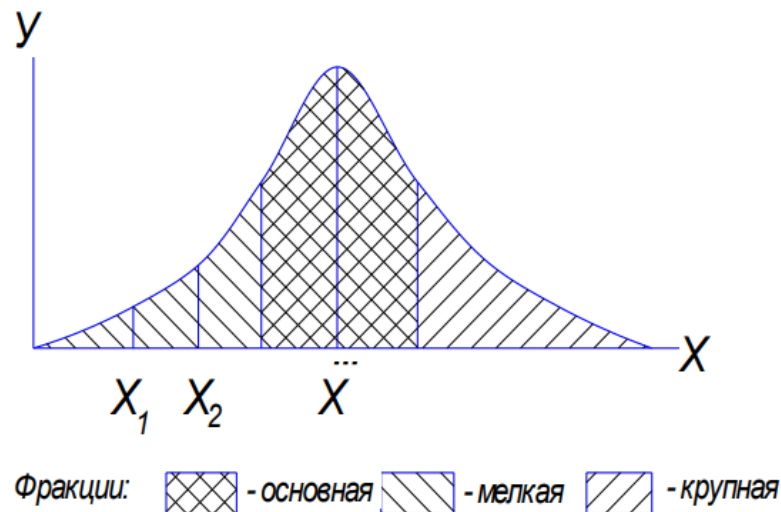


Рисунок 2.3 – Розподіл зерен за фракціями

- для середнього квадратичного відхилення

$$\sigma_M = 0,11\bar{x}_M = 0,11 \cdot 111,8 = 12,298 \text{ мкм.} \quad (2.8)$$

Практичні розрахунки можна робити по формулі

$$\begin{aligned} P &= 0,5 \left[ \Phi \left( 0,39 \frac{x_2}{N} - 0,42 \right) - \Phi \left( 0,39 \frac{x_1}{N} - 0,42 \right) \right] = \\ &= 0,5 \left[ \Phi \left( 0,39 \frac{100}{10} - 0,42 \right) - \Phi \left( 0,39 \frac{125}{10} - 0,42 \right) \right] = \\ &= 0,5 [\Phi(3,48) - \Phi(4,455)] = 0,5 [(0,99954 - 0,999991)] = 0,225 \cdot 10^{-3} \text{ кг;} \end{aligned} \quad 2.9$$

Проведемо перехід від параметрів кривої розподілу масою зерен  $\bar{x}_M$  та  $\sigma_M$  до параметрів кривої розподілу за їх кількістю  $\bar{x}$  та  $\sigma$  з допомогою перехідних коефіцієнтів:

$$\bar{x} = 0,96\bar{x}_M = 0,96 \cdot 111,803 = 107,331 \text{ мкм;} \quad (2.10)$$

$$\sigma_M = 12,298 \text{ мкм.} \quad (2.11)$$

### 2.3.2 Розрахунок робочого шару шліфувального круга

Товщина робочого шару інструменту

$$\Delta_{\text{max}} \approx 1,36\bar{x}(1 - \varepsilon) = 25,107 \text{ мкм.} \quad (2.12)$$

Робоча поверхня круга

$$B_0 \approx \Delta_{\max} / 6 = 25,107 / 6 = 4,185 \text{ мкм.} \quad (2.13)$$

Номінальна кількість зерен в одиниці об'єму шліфувального інструменту

$$n_w \approx \frac{3}{200\pi} \cdot \frac{K}{a^2 x^3} = \frac{3}{200\pi} \cdot \frac{100}{0,6^2 0,107^3} = 1082,649 \text{ 1/мм}^3; \quad 2.14$$

$$n_0 \approx \frac{3K}{200\pi a^{3/2} x^2} = \frac{3 \cdot 100}{200\pi} \frac{1}{0,6^{3/2} 0,107^2} = 89,732 \text{ 1/мм}^2; \quad 2.15$$

Номінальна кількість вершин зерен в обсязі робочого шару круга, розташованому над одиницею поверхні зв'язки.

Фактична кількість вершин зерен в обсязі робочого шару круга, розташованому над одиницею поверхні зв'язки

$$n = n_0(1 - \varepsilon) = 15,434 \text{ шт}; \quad 2.16$$

Кількість активних працюючих зерен

$$n_p = \beta^* \cdot n \cdot F(v); \quad 2.17$$

де  $F(v)$  – функція, яка залежить від безрозмірного параметра  $v$ ;

$\beta^* = 1,63$  – поправка на несиметричне розташування кривої розподілу вильотів вершин зерен у робочому шарі круга.

Безрозмірний параметр

$$v = \frac{1000V}{w} n \cdot \sigma_0^2 \cdot \tan \gamma = \frac{1000 \cdot 35}{5,271} 15,434 \cdot 0,0041^2 \cdot 1 = 1,6397; \quad 2.18$$

де  $\gamma$  – половина середньо-ймовірного значення кута ріжучої вершинки зерна шліфувального круга, град.

Середня питома продуктивність процесу шліфування виражена через знімання матеріалу з одиниці поверхні контакту між шліфувальним кругом та деталлю

$$w = \frac{1000}{60} V \sqrt{\frac{t}{D}} = \frac{1000}{60} 10 \sqrt{\frac{0,2}{200}} = 5,271 \text{ мм/с}; \quad 2.19$$

У межах  $1 \leq v \leq 100$  значення  $F(v)$  апроксимуються наступним відомим виразом

$$F(v) \approx \frac{0,55}{\sqrt{v}};$$

Тоді кількість активних зерен буде рівна

$$n_p = \frac{0,55 \beta^* \sqrt{n}}{\sigma_0 \sqrt{\tan \gamma}} \sqrt{\frac{w}{1000V}} = \frac{0,55 \cdot 1,63 \sqrt{15,434}}{0,0041 \sqrt{1}} \sqrt{\frac{5,271}{1000 \cdot 35}} = 24,808 \text{ зерен/мм}^2; \quad 2.20$$

Середня товщина зрізу, що припадає на одне ріжуче зерно

$$a \approx 2 \cdot 10^3 \frac{a^{0,37}}{(\tan \gamma)^{0,25}} \frac{(1-\varepsilon)^{0,25} \bar{x}}{K^{0,25}} \left( \frac{w}{1000V} \right)^{0,25} =$$

$$= 2000 \frac{0,6^{0,37}}{1^{0,25}} \frac{(1-0,828)^{0,25} 0,107}{100^{0,25}} \left( \frac{5,271}{1000 \cdot 35} \right)^{0,25} = 3,996 \text{ мкм.} \quad 2.21$$

### 2.3.3 Розрахунок температури шліфування

Будемо вважати, що в процесі шліфування частина стержня, рівна величині припуску, що знімається, (або в першому наближенні – рівна глибині шліфування  $t$ ) перерізується шліфувальним кругом (рис. 2.4).

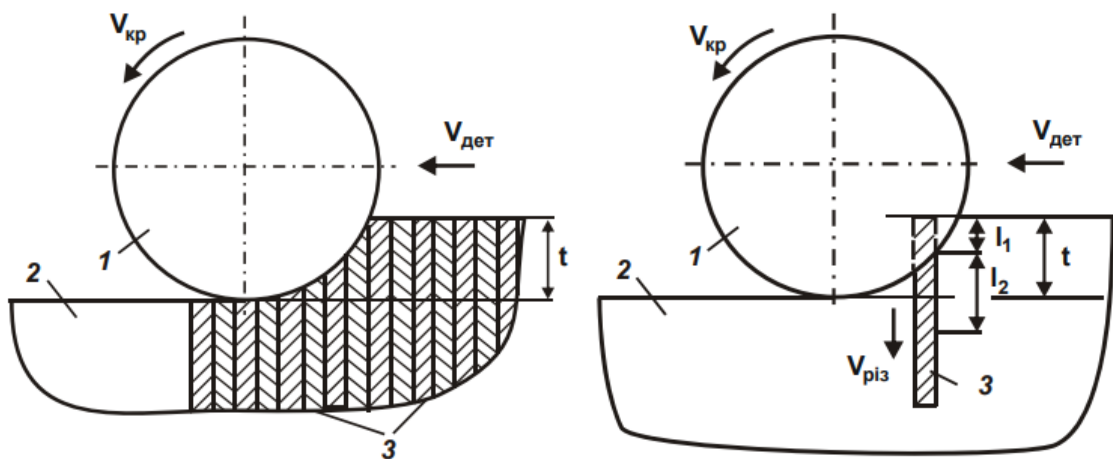


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема параметрів процесу шліфування: 1 – круг; 2 – оброблювана деталь; 3 – адіабатичні стержні.

Середня температура на поверхні контакту ріжучого зерна з деталлю визначається за формулою

$$\theta_3 = 10,7 \frac{A^*}{\lambda + 2,25\lambda_p A^* \sqrt{F_0}} \frac{\delta P_z \sqrt{\omega_p V}}{x_n^2 n_p B \sqrt{L}} =$$

$$= \frac{0,75}{0,054 + 2,25 \cdot 0,35 \cdot 0,75 \sqrt{0,658}} \cdot \frac{2 \cdot 15,466 \sqrt{0,83 \cdot 35}}{0,079^2 \cdot 24,808 \cdot 5 \sqrt{6,325}} = 708,767 \text{ } ^\circ\text{C};$$
2.22

де функція  $A^*$  залежить від співвідношення  $\lambda_p / \lambda_k = 0,35 / 0,15 = 2,33$ , а як і від часу контакту зерна з деталлю при одному різі  $\tau_k$ .

Останнє представлено через безрозмірний комплекс Фур'є

$$F_0 = \frac{100\omega_p \tau_k}{x_{II}^2} = \frac{\omega_p L}{10Vx_{II}^2} = \frac{0,83 \cdot 6,325}{10 \cdot 35 \cdot 0,079^2} = 2,403;$$
2.23

Проаналізувавши отримані дані, зробили висновок, що  $A^* = 0,75$ ;  $\delta = 2$  - коефіцієнт, що враховує стрибкоподібний розподіл навантаження між зернами на майданчику контакту у зв'язку з нерівномірним розподілом питомих сил.

Наведений розмір зерен у колі

$$x_n = 0,875 \bar{x}^3 \sqrt{a} = 0,875 \cdot 0,1073^3 \sqrt{0,6} = 0,0792 \text{ мм};$$
2.24

Колова складова шліфування

$$P_z = 8t^{0,3} s^{0,3} B^{0,6} = 8 \cdot 0,2^{0,3} 1,8^{0,3} 5^{0,6} = 15,466 \text{ кгс};$$
2.25

Найбільша температура на поверхні контакту круга з деталлю

$$\theta_{max} = 52 \cdot (1 - b^*) \cdot \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} \cdot \frac{m^{0,05} P_z V}{b \sqrt{V} B^{0,4}} =$$

$$= 52 \cdot (1 - 0,713) \cdot \frac{\sqrt{0,050}}{0,054} \cdot \frac{0,02^{0,05} 15,466 \cdot 35}{6,325 \sqrt{10} \cdot 5^{0,4}} = 722,479 \text{ } ^\circ\text{C};$$
2.26

Для визначення частки тепла деталі  $(1 - b^*)$  застосовують формулу

$$b^* = \frac{1}{1 + 2,25 \frac{\lambda}{\lambda_l} A^* \sqrt{F_0}} = \frac{1}{1 + 2,25 \frac{0,054}{0,35} 0,75 \sqrt{2,403}} = 0,713.$$
2.27

Оскільки максимальна розрахункова температура глибинного шліфування менше, ніж температура алотропного перетворення алмазу, зробимо висновок, що в даних умовах процесу шліфувальний круг з алмазосним шаром підходить для обробки поверхні заготовки.



У подальшій розробці технологічного процесу та проектуванні налагодження на операцію шліфування ми застосуємо круг даного типу.

Температура  $\theta$  визначається коефіцієнтом різання  $K_{\text{різ}}$ . Домогтися зменшення температури  $\theta$  можна за рахунок збільшення коефіцієнта різання  $K_{\text{різ}}$ , який при шліфуванні приймає значення  $K_{\text{різ}} < 1$ . Тому зменшити температуру  $\theta$  можна за рахунок переходу від шліфування до лезової обробки. Ефективно зменшувати  $\sigma$  (відповідно збільшувати  $K_{\text{різ}}$ ) шляхом зменшення тертя інструменту з оброблюваним матеріалом.

На рис. 2.4 наведені розраховані по залежностям (2.22) значення температури  $\theta$  й  $\sigma$  стосовно до шліфування твердого сплаву ВК8:  $\sigma_{\text{ст}} = 4 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup>.

У широкому діапазоні зміни  $K_{\text{різ}} = 0 \dots 1,5$  температура  $\theta$  приймає значення (більше 1500°C), що перевищують температуру плавлення оброблюваного матеріалу. Отже, при шліфуванні можливо реалізувати сталий тепловий процес.

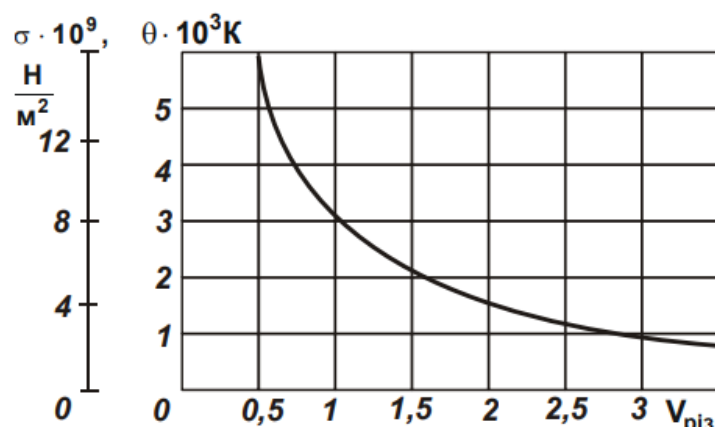


Рисунок 2.4 – Залежності  $\sigma$  і  $\theta$  від коефіцієнта різання  $K_{\text{різ}}$

Як видно, умовна напруга різання  $\sigma$  відповідає енергоємності обробки  $A/V$ . Користуючись наведеними залежностями, проведемо аналіз значень  $\sigma$  і  $K_{\text{різ}}$ , отриманих експериментально для різних процесів шліфування й різання.

У табл. 2.1 наведені експериментальні значення параметрів плоского шліфування сталі абразивним кругом 24A40M36K5 ( $V = 29,6$  кр м/с,  $V = 6$  дет м/хв.,  $P_y = 60$  Н).

Таблиця 2.1 – Значення параметрів шліфування

№ з/п	Час обробки $\tau$ , хв.	Глибина шліфування $t$ за 5 проходів, мм	Потужність шліфування $N$ , Вт	Сила різання $P_z$ , Н	Коефіцієнт шліфування $K_{ш} = P_z / P_y$	Умовна напруга різання $\sigma \cdot 10^4$ , МПа
1	0,1	0,037	840	28,8	0,480	3,24
2	0,5	0,013	854	22,4	0,373	7,20
3	1,0	0,008	630	21,5	0,358	11,2
4	2,0	0,006	522	17,9	0,299	12,4
5	3,0	0,005	480	16,4	0,273	13,7
6	5,0	0,003	450	15,3	0,296	18,8

Установлено (рис. 2.5), що зі збільшенням глибини шліфування  $t$  й швидкості деталі  $V_{дет}$  при глибинному круглому зовнішньому алмазному шліфуванні твердого сплаву ВК8 умовна напруга різання  $\sigma$  зменшується більшою мірою зі збільшенням  $V_{дет}$ .

При цьому  $\sigma$  може бути зменшене до значення  $5000 \text{ Н/мм}^2$  (при  $K_{ш} = 0,5$ , рис. 2.6), тобто приблизно в три рази. У таку кількість разів зменшиться температура шліфування й прийме значення на рівні  $2000^\circ\text{C}$ . Це дозволяє зробити висновок, що перехід в область глибинного шліфування створює передумови реалізації сталого теплового процесу ( $z \rightarrow 1$ ).

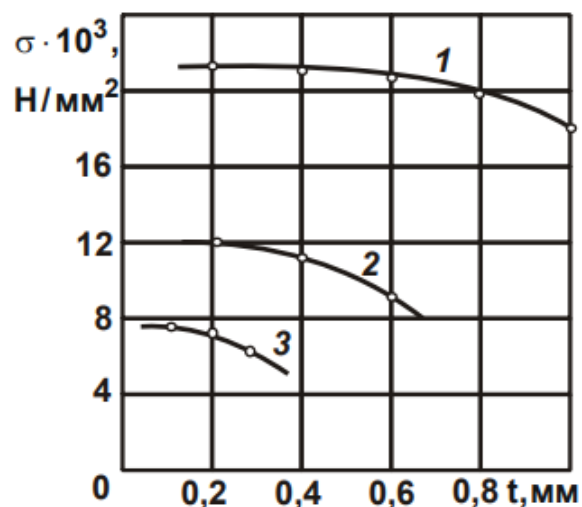


Рисунок 2.5 – Залежність напруження  $\sigma$  від глибини шліфування  $t$ : 1 –  $V_{дет} = 2,5$  м/хв.; 2 –  $V_{дет} = 5$  м/хв.; 3 –  $V_{дет} = 10$  м/хв.

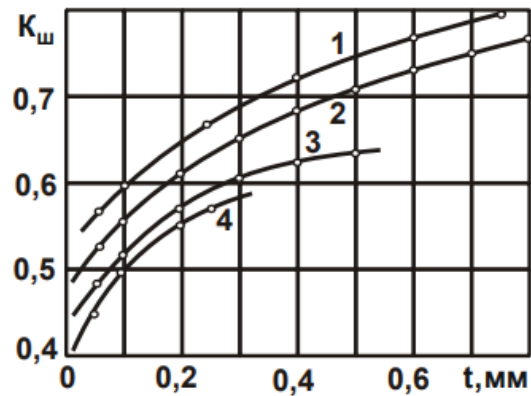


Рисунок 2.6 – Залежність коефіцієнта шліфування  $K_{ш}$  від глибини шліфування  $t$ : 1 –  $V_{дет} = 1,0$  м/хв.; 2 –  $V_{дет} = 2,5$  м/хв.; 3 –  $V_{дет} = 5$  м/хв.; 4 –  $V = 10$  м/хв.

Як видно з рис. 2.7, зі збільшенням глибини шліфування  $t$  температура шліфування  $\theta$  спочатку збільшується, потім, при досягненні досить великого значення  $t$  фактично стабілізується.

Аналогічним чином змінюється температура шліфування  $\theta$  зі збільшенням швидкості подачі деталі  $V_{дет}$  при фіксованому значенні глибини шліфування, рис. 2.8.

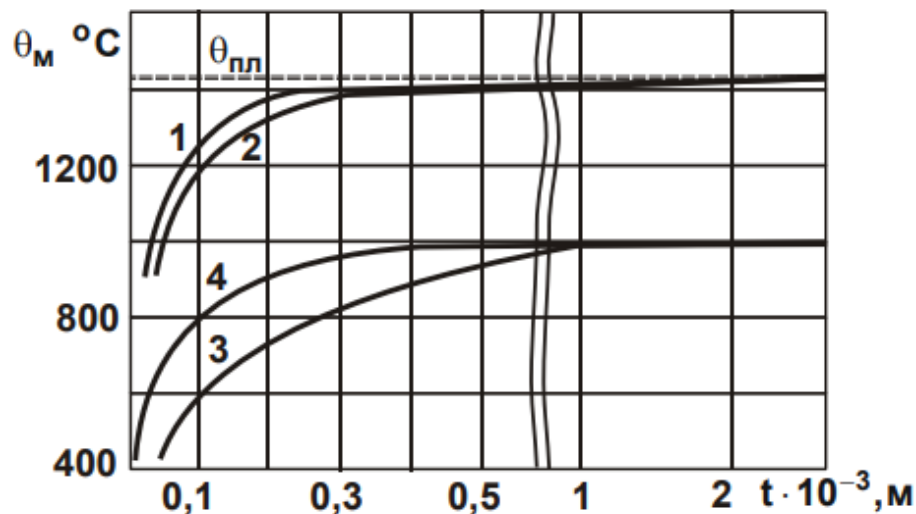


Рисунок 2.7 – Залежність зміни температурного поля при шліфуванні:

1 –  $V_{кр} = 35$  м/с;  $V_{дет} = 0,05$  м/с;

2 –  $V_{кр} = 35$  м/с;  $V_{дет} = 0,05$  м/с;

3 –  $V_{кр} = 30$  м/с;  $V_{дет} = 0,01$  м/с;

4 –  $V_{кр} = 27$  м/с;  $V_{де} = 1 \dots 1,66 \cdot 10^3$  м/с

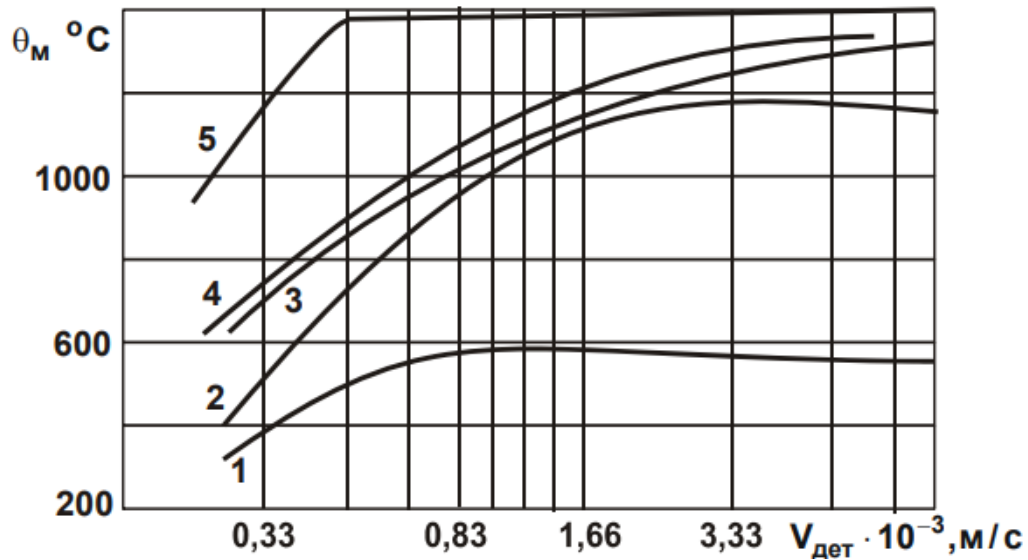


Рисунок 2.8 – Залежність зміни температури шліфуванні від швидкості деталі: 1 –  $t = 0,04 \cdot 10^{-3}$  м; 2 –  $t = 0,08 \cdot 10^{-3}$  м; 3 –  $t = 0,16 \cdot 10^{-3}$  м; 4 –  $t = 0,24 \cdot 10^{-3}$  м; 5 –  $t = 2,0 \cdot 10^{-3}$ .

Таким чином показано, що при глибинному шліфуванні сталей і сплавів (менш твердих і менш міцних, чим тверді сплави) можна реалізувати сталий тепловий процес ( $1 z \rightarrow$ ). Температура шліфування при цьому приймає значення менше температури плавлення оброблюваного матеріалу.

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Розробка технологічного процесу виготовлення опорної планки

##### 3.1.1 Розробка технологічного маршруту виготовлення планки

Таблиця 3.1 - Розробка технологічного маршруту виготовлення опорної планки

N	Устаткування	Зміст операції
000 Заготівельна	Верстат відрізний Friggi VAS OSF	Відрізати заготовки
005 Фрезерна	Горизонтально-фрезерний верстат 6П80Г	Перехід 1 Фрезерувати основу 14 Перехід 2 Фрезерувати лівий торець 1
010 Фрезерна	Горизонтально-фрезерний верстат 6П80Г	Перехід 1 Фрезерувати поверхню 11 Перехід 2 Фрезерувати правий торець 4
015 Фрезерна	Універсально-фрезерний верстат 6Н81	Перехід 1 Фрезерувати торці 2, 6 Перехід 2 Фрезерувати паз (Поверхні 7, 8, 13)
020 Фрезерна	Універсально-фрезерний верстат 6Н81	Фрезерувати два скоси 3 і 5 по 10 °
025 Фрезерна	Вертикально-фрезерний верстат 6Н12ПБ	Фрезерувати заниження (Поверхні 9, 10)
030 Фрезерна	Горизонтально-фрезерний верстат 6П80Г	Фрезерувати фаску 12
035 Пайка	Зварювальний напівавтомат M 3030 automotive	Припаяти пластину в паз (Поверхні 7, 8, 13)
040 Свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2А135	Свердлити 2 отвори 15, 18 напрохід, підрізати фаски 16, 19

045 Різьбонарізування	Вертикально-свердлильний верстат 2С132К	Прорізати різьблення 17, 20
050 Шліфувальна	Плоскошліфувальний верстат JPSG-0618Н	Перехід 1 Шліфувати основу 14 Перехід 2 Шліфувати лівий торець
055 Шліфувальна	Плоскошліфувальний верстат JPSG-0618Н	Шліфувати поверхню 11
060 Шліфувальна	Плоскошліфувальний верстат JPSG-0618Н	Шліфувати фаску 12
065 Шліфувальна	Плоскошліфувальний верстат JPSG-0618Н	Шліфувати правий торець 4
070 Мийна	Мийна машина	
075 Контрольна	Контрольний стіл	Контроль згідно з робочим кресленням

### 3.1.2 Вибір технологічних баз

Продуктивність виготовлення виробу багато в чому залежить від визначення технологічних баз. Цей вибір є складним завданням, тому що впливає на вирішення безлічі приватних завдань у техпроцесі механічної обробки деталі (гарантування різних технічних вимог).

Поверхні, лінії, точки заготовки, які орієнтують її при закріпленні на верстаті для обробки, розуміють як технологічні бази, а розташування заготовки, що реалізується за допомогою опор пристосування називають базуванням. Поверхні, лінії та точки заготовки, щодо яких проводять контроль необхідних розмірів, є вимірювальними базами.

Для базування заготовки потрібно позбавити її шести ступенів вільності, значить, вистачить шести опорних точок, розташованих певним чином.

У плоских заготовок основними технологічними базами є площині. Найбільша за площею поверхня є настановною базою.

Також технологічні бази визначають на кшталт їх прояви: явні та приховані, і по здійсненню: природні та штучні.

Явними називають дійсні складові структури заготовки, а прихованими – умовні площини, лінії, точки, які використовуються як технологічні основи. Природні бази – реальні складові структури заготовки, що використовуються як технологічні бази, а штучні – допоміжні елементи, що створюються на заготовки, у тому, щоб реалізувати теоретичну схему базування.

Таблиця 3.2 - Вибір технологічних баз

N операцій	N опорних точок	Найменування бази	Характер прояви		Реалізація	
			Явна	Прихована	Природна	Штучна
005	1-3	УБ	+		+	
	4-5	ДО	+		+	
	6	О	+		+	
010	1-3	УБ	+		+	
	4-5	ДО	+		+	
	6	О	+		+	
015	1-3	УБ	+		+	
	4-5	ДО	+		+	
	6	О	+		+	
020	1-3	УБ	+		+	
	4-5	ДО	+		+	
	6	О	+		+	
025	1-3	УБ	+		+	
	4-5	ДО		+	+	
	6	О	+		+	
030	1-3	УБ	+		+	
	4-5	ДО	+		+	
	6	О	+		+	
035	1-3	УБ	+		+	
	4-5	ДО	+		+	
	6	О	+		+	
040	1-3	УБ	+		+	
	4-5	ДО	+		+	
	6	О	+		+	
045	1-3	УБ	+		+	
	4-5	ДО	+		+	
	6	О	+		+	
050	1-3	УБ	+		+	
	4-5	ДО		+	+	
	6	О	+		+	

055	1-3	УБ	+		+	
	4-5	ДО	+		+	
	6	О	+		+	
060	1-3	УБ	+		+	
	4-5	ДО	+		+	
	6	О	+		+	
065	1-3	УБ	+		+	
	4-5	ДО	+		+	
	6	О	+		+	

### 3.1.3 Вибір засобів технологічного оснащення

Після того, як ми розробили технологічний маршрут виготовлення деталі та теоретичні схеми базування, зробимо вибір засобів технологічного оснащення кожної операції. У велико-серійному і масовому виробництві найчастіше воліють спеціальне обладнання, інструмент та пристрої.

Таблиця 3.3 - Вибір СТО

Найменування операції	Найменування обладнання	Верстатне пристосування	Ріжучий інструмент	Контроль вимірювань
000 Заготівельна	Верстат відрізний Friggi VAS OSF	Тиски автоматичні HWE-AMV 160L-C	Прецизійні напрямні пили на шарикопідшипниках 500x20	Штангенциркуль ШЦЦ-2-250 0.01 ДСТУ 166-89
005 Фрезерна	Горизонтально-фрезерний верстат 6П80Г	Спеціальне комбіноване пристосування	Фреза циліндрична 2200-0301 50x40x22 Виконання 1 ДСТУ 29092-91 Фреза торцева насадна дрібнозуба зі вставними ножами 100x39x32 ДСТУ 9473-80	Штангенциркуль ШЦЦ-2-250 0.01 ДСТУ 166-89
010 Фрезерна	Горизонтально-фрезерний верстат 6П80Г	Спеціальне комбіноване пристосування	Фреза циліндрична 2200-0301 50x40x22	Штангенциркуль ШЦЦ-2-250 0.01 ДСТУ 166-89 015



			Виконання 1 ДСТУ 29092-91 Фреза торцева насадна дрібнозуба зі вставними ножами 100x39x32 ДСТУ 9473-80	
015 Фрезерна	Універсально- фрезерний верстат 6Н81	Тиски 7201-0001 ДСТУ 16518-96	Фреза торцева насадна дрібнозуба зі вставними ножами 100x39x32 ДСТУ 9473-80 Дискова пазова фреза 50x3x16 ДСТУ 3964-69	Штангенциркуль ШЦЦ-2-250 0.01 ДСТУ 166-89 Набір кінцевих заходів ДСТУ 9038-90
020 Фрезерна	Горизонтально- фрезерний верстат 6П80Г	Тиски 7201-0001 ДСТУ 16518-96 Втулка циліндрична спеціальна	2хФреза двокутова несиметрична 80x16x27мм, 60°(45°+15°) Р6АМ5 Z = 22	Штангенциркуль ШЦЦ-2-250 0.01 ДСТУ 166-89 Кутові заходи, 2 клас точності ДСТУ 2875-88
025 Фрезерна	Вертикально- фрезерний верстат 6Н12ПБ	Спеціальне комбіноване пристосування	Фреза кінцева, циліндрична з конічним хвостовиком 32x19x115 Тип 1 Виконання 1 ДСТУ 23248-78	Штангенциркуль ШЦЦ-2-250 0.01 ДСТУ 166-89 Набір кінцевих заходів ДСТУ 9038-90
030 Фрезерна	Горизонтально- фрезерний верстат 6П80Г	Спеціальне комбіноване пристосування	Фреза циліндрична 2200-0301 50x40x22 Виконання 1 ДСТУ 29092-91	Набір типових шаблонів
035 Пайка	Зварювальний напівавтомат М 3030 automotive	Тиски 7201-0001 ДСТУ 16518-96	Припій ПСр 10 ДСТУ 19746-74	Візуальний контроль
040 Свердлильна	Вертикально- свердлильний верстат 2А135	Консольний скальчастий кондуктор з гідравлічним силовим приводом	Свердло спіральне східчате спеціальне Р6М5 4,5/6,5x80 мм	Штангенциркуль ШЦЦ-2-250 0.01 ДСТУ 166-89

045 Різьбонарізна	Вертикально-свердильний верстат 2С132К	Спеціальне комбіноване пристосування	Мітчик М5х0.5 машинно-ручний ДСТУ 3266-81, Р6М5	Калібр різьбовий ДСТУ 24997-81
050 Шліфувальна	Плоскошліфувальний верстат JPSG-0618Н	Спеціальне комбіноване пристосування	Круг алмазний шліфувальний плоский прямого профілю 1А1 200х40х76, 2х4 ДСТУ Р 53923-2010	Мікрометр ДСТУ 6507-90 Штангенциркуль ШЦЦ-2-250 0.01 ДСТУ 166-89
055 Шліфувальна	Плоскошліфувальний верстат JPSG-0618Н	Спеціальне комбіноване пристосування	Круг алмазне шліфувальний плоский прямого профілю 1А1 200х6х76, 2х3 ДСТУ Р 53923-2010	Мікрометр ДСТУ 6507-90 Штангенциркуль ШЦЦ-2-250 0.01 ДСТУ 166-89
060 Шліфувальна	Плоскошліфувальний верстат JPSG-0618Н	Спеціальне комбіноване пристосування	Круг алмазний шліфувальний 1ЕЕ1 200х13х4х90° ДСТУ Р 53923-2010	Набір типових шаблонів
065 Шліфувальна	Плоскошліфувальний верстат JPSG-0618Н	Спеціальне комбіноване пристосування	Круг алмазний шліфувальний тарілчастий форми 6А2 200х31х76, 2х10х6 ДСТУ Р 53923-2010	Мікрометр ДСТУ 6507-90 Штангенциркуль ШЦЦ-2-250 0.01 ДСТУ 166-89
070 Мийна	Мийна машина Сівер 80 НТ075			
075 Контрольна	Контрольний стіл			Мікрометр ДСТУ 6507-90 Штангенциркуль ШЦЦ-2-250 0.01 ДСТУ 166-89 Набір типових шаблонів Набір кінцевих заходів ДСТУ 9038-90 Кутові заходи, 2 клас точності ДСТУ 2875-88 Калібр різьбовий ДСТУ 24997-81

До розробленого технологічного процесу виготовлення опорної планки додається креслення А1 з планом виготовлення та маршрутна карта даного процесу (додаток А).

### 3.2 Проектування спірального східчастого свердла

Свердлом називають ріжучий, що обертається навкруг своєї осі інструмент, який призначений для свердління та розсвердлювання круглих отворів у суцільному шарі різних матеріалів.

Одним з різновидів свердла є східчасте свердло, яке має можливість просвердлювати отвори та розсвердлювати його або підрізати фаску за один прийом.

У даному розділі ми спроектуємо східчасте свердло, завданням якого буде виконання отвору та підрізання в ньому фаски.

Аналіз вихідних даних.

Проводимо розрахунок спірального східчастого свердла для обробки отвори діаметром 4,5 напрохід під різьблення М5 з одночасним підрізуванням фаски  $1 \times 45^\circ$

Операційний ескіз свердлильної операції представлений на рис. 3.1.

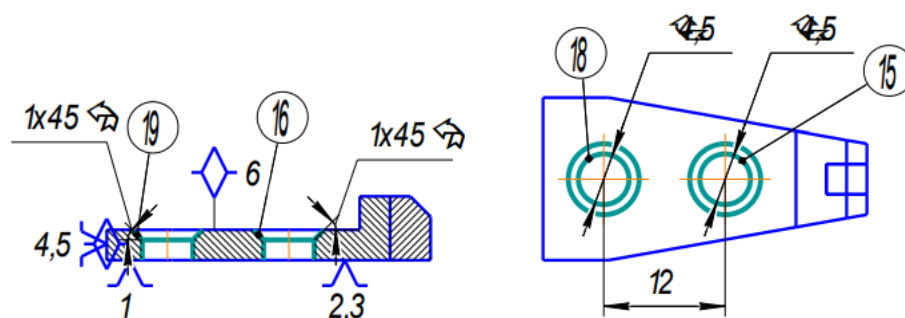


Рисунок 3.1 – Операційний ескіз свердлильної операції 040

Матеріал заготовки 12X18Н10Т В = 550 МПа.

Матеріал ріжучої частини свердла Р6М5.

Середнє значення періоду стійкості свердла  $T = 6$  хв.

Глибина отвору, що обробляється – на прохід.

Визначимо діаметри свердла за ДСТУ 19257-73:

- 1 операція (під отвір)  $D1 = 4,5$  мм;
- 2 операція (під фаску)  $D2 = 6,5$  мм.

Розрахунок режимів різання.

Розрахунок для першої операції.

Швидкість різання при свердлінні

$$V = \frac{C_V D I_q}{T^m S^y} K_V = \frac{3,5 \cdot 4,5^{0,5}}{6^{0,12} \cdot 0,19^{0,45}} 0,3 = 3,793 \text{ м/мин}; \quad 3.1$$

де  $S1 = 0,19$  мм/об - подача,

$T = 6$  хв - період стійкості свердла,

$D1 = 4,5$  мм - діаметр 1 щаблі свердла.

Значення коефіцієнта  $C_V$  та показників ступеня у формулі швидкості різання при свердлінні

$$C_V = 3,5,$$

$$q = 0,5,$$

$$y = 0,45,$$

$$m = 0,12.$$

Загальний коефіцієнт поправки на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{IV} \cdot K_{IV} = 0,3; \quad 3.2$$

де:  $K_{MV} = 1$  – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив фізико-механічних властивостей на швидкість різання,

$K_{IV} = 0,3$  – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу на швидкість різання,

$K_{IV} = 1$  – поправочний коефіцієнт на швидкість різання при свердлінні, що враховує глибину отвору, що обробляється.

Обертаючий момент

$$M_{кр} = 10 C_M D I^q S^y K_p = 10 \cdot 0,041 \cdot 4,5^2 \cdot 0,19^{0,7} 0,79 = 2,051 \text{ Н}\cdot\text{м} = 2051 \text{ Н}\cdot\text{мм}; \quad 3.3$$

де значення коефіцієнта  $C_M$  та показників ступеня у формулі крутного моменту

$$C_M = 0,041,$$

$$q = 2,$$

$$y = 0,7.$$

Коефіцієнт, що враховує фактичні умови обробки

$$K_P = K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{550}{750}\right)^{0,75} = 0,79; \quad 3.4$$

де  $n = 0,75$  (для сталі).

Осьова сила

$$P_o = 10C_p D l^q S^y K_p = 10 \cdot 143 \cdot 4,5^1 \cdot 0,19^{0,7} \cdot 0,79 = 1589,7 \text{ Н}; \quad 3.5$$

де значення коефіцієнта  $C_P$  та показників ступеня у формулі осьовий сили

$$C_P = 143,$$

$$q = 1,$$

$$y = 0,7.$$

Розрахунок для другої операції.

Швидкість різання

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m t^x S^y} K_V = \frac{16,2 \cdot 6,5^{0,4}}{6^{0,2} \cdot 1^{0,2} \cdot 0,19^{0,5}} 0,3 = 16,474 \text{ м/мин}; \quad 3.6$$

де:  $D_2 = 6,5$  мм – діаметр 2 операції свердла,

$$C_V = 16,2$$

$$q = 0,4$$

$$y = 0,5$$

$$m = 0,2$$

$$x = 0,2$$

$$K_V = K_{M1} K_{M2} K_{M3} = 0,3; \quad 3.7$$

де:  $K_{MV} = 1$

$$K_{IV} = 0,3$$

$$K_{IV} = 1$$

Розрахунок крутного моменту

$$M_{кр} = 10C_M D^q t^x S^y K_p = 10 \cdot 0,106 \cdot 6,5^1 \cdot 0,19^{0,8} \cdot 0,79 = 1,442 \text{ Н·м} = 1442 \text{ Н·мм}; \quad 3.8$$

де:  $C_M = 0,106$

$$q = 1$$

$$y = 0,8$$

$$K_P = K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{550}{750}\right)^{0,75} = 0,79; \quad 3.9$$

де:  $n = 0,75$

Розрахунок осьової сили

$$P_o = 10 C_p S^y K_p = 10 \cdot 140 \cdot 0,19^{0,7} \cdot 0,79 = 345,8 \text{ Н}; \quad 3.10$$

де:  $C_P = 140$ ;

$$q = 1;$$

$$y = 0,7.$$

Зробимо висновок, що для розрахунку потужності різання використовуватимемо значення першого ступеня свердла, оскільки порівнявши два отримані величини крутного моменту першого та другого ступенів, з'ясували, що на першою він є максимальним.

Потужність різання максимальна

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{9750} = \frac{2051 \cdot 268,299}{9750} = 56,439 \text{ Вт} = 0,056 \text{ кВт}; \quad 3.11$$

де:  $M_{кр} = 2051 \text{ Нмм}$  – максимальний крутний момент, що виникає в процесі обробки.

Максимальна частота обертання інструменту, об/хв

$$n = \frac{1000 V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 3,793}{\pi 4,5} = 268,299 \quad 3.12$$

Максимальний момент сил опору різанню виникає при обробці свердлом, що затупився, і дорівнює

$$M_{срМАХ} = 3M_{кр}$$

Звідси для нормальної роботи

$$M_{срМАХ} = 3M_{кр} = M_{тр} = 3 \cdot 2051 = 6153 \text{ Н}\cdot\text{мм}; \quad 3.13$$

Визначення геометрії свердлу.

Визначимо загальну довжину та довжину робочої частини свердла:

$L = 80$  мм – загальна довжина інструменту,

$H_1 = 10$  мм – довжина 1 ступеня;

$H_2 = 10$  мм – довжина 2 шаблі;

Визначимо геометричні параметри роботи чий частини свердла:

$m = 0,7$  мм – товщина серцевини;

$\omega = 26^\circ$  – кут нахилу гвинтової канавки;

$\alpha = 16^\circ$  – задній кут;

$\psi = 55^\circ$  – кут нахилу поперечної кромки

$2\phi = 118^\circ$  – кут між ріжучими кромками

$H_1 = 29$  мм крок гвинтової канавки 1 ступеня

Крок гвинтової канавки 2 ступені

$$H_2 = \frac{\pi D_2}{\tan 26^\circ} = 41,9 \text{ мм} \quad 3.14$$

Аналіз передніх кутів заточування.

За допомогою аналізу передніх кутів ріжучих кромок свердла визначимо вид заточування та (при необхідності) додаткової підточки.

Діаметр свердла у перемички

$$d_n = \frac{m}{\sin \psi} = \frac{0,7}{\sin 55^\circ} = 0,85 \text{ мм} \quad 3.15$$

тоді  $d_n \in [0,85; 6,5]$ .

Виберемо для аналізу діаметри з отриманого проміжку  $d_i = 0,85; 1,5; 3; 5$ ;

Отримані значення зведемо до графіка, рис. 3.2.

$$\gamma_{d1} = \arctan \left( \frac{d_1 \tan \omega}{D \sin \phi} - \frac{m \cos \phi}{\sqrt{d_1^2 - m^2}} \right) = -33,959^\circ \quad 3.16$$

$$\gamma_{d2} = \arctan \left( \frac{d_2 \tan \omega}{D \sin \phi} - \frac{m \cos \phi}{\sqrt{d_2^2 - m^2}} \right) = -7,995^\circ \quad 3.17$$

$$\gamma_{d3} = \arctan \left( \frac{d_3 \tan \omega}{D \sin \phi} - \frac{m \cos \phi}{\sqrt{d_3^2 - m^2}} \right) = 7,915^\circ \quad 3.18$$

З графіка видно, що перепад значень передніх кутів у проміжку діаметрів [0,85; 6,5] дуже великий.

Вивчивши дані робимо висновок, що для конструкції даного звела необхідне подвійне заточування ріжучих кромки з підточкою поперечної кромки та стрічки, рис. 3.3.

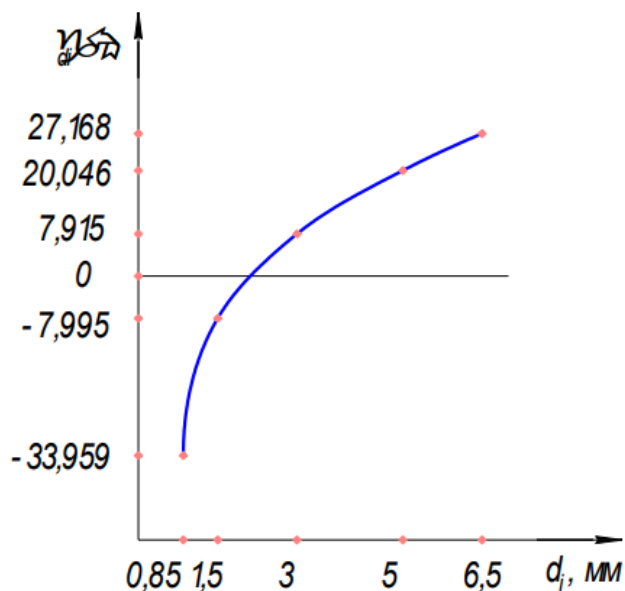


Рисунок 3.2 – Графік зміни передніх кутів ріжучих кромки свердла

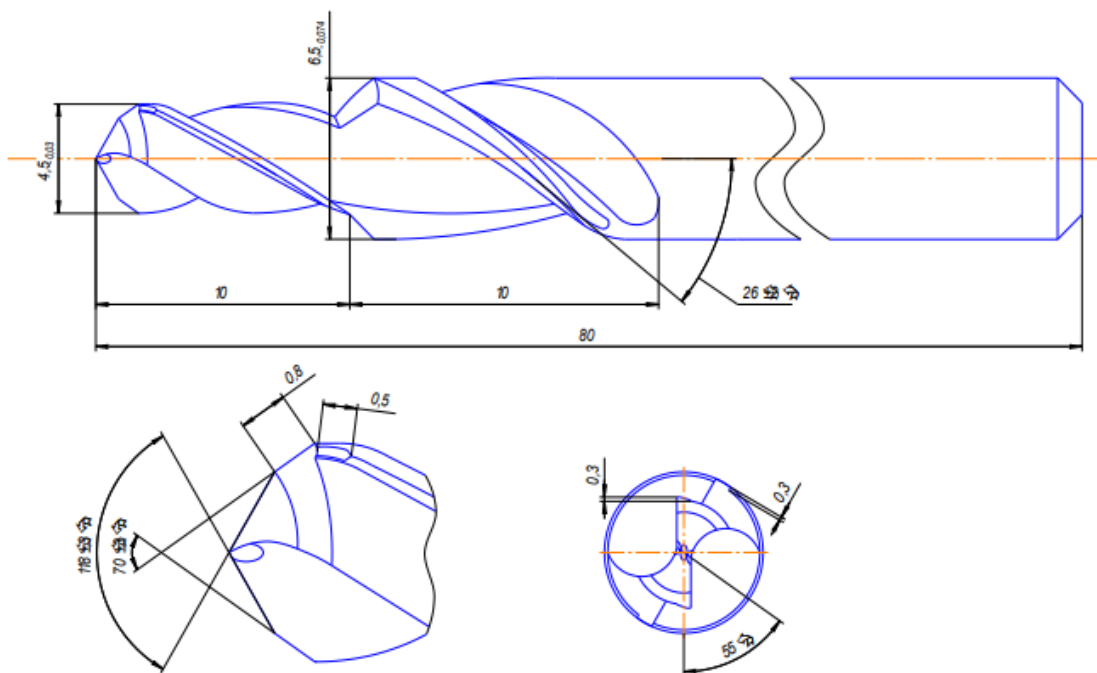


Рисунок 3.3 – Спіральне східчасте свердло



## 4 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

### 4.1 Проектування консольного скальчастого кондуктора

На операціях механічного оброблення значним елементом технологічної системи служить пристосування. Не інакше, як на ньому закріплюється вихідна заготовка і його параметрів точності залежать характеристики одержуваної деталі, зручність роботи для верстатника та продуктивність процесу обробки.

Цей розділ має на меті спроектувати консольний, скальчастий кондуктор та скласти відповідну конструкторську документацію.

Завдання розділу: зробити розрахунки для проектування кондуктора та силового приводу до нього, розробити конструкцію кондуктора з механізованим приводом.

Аналіз вихідних даних.

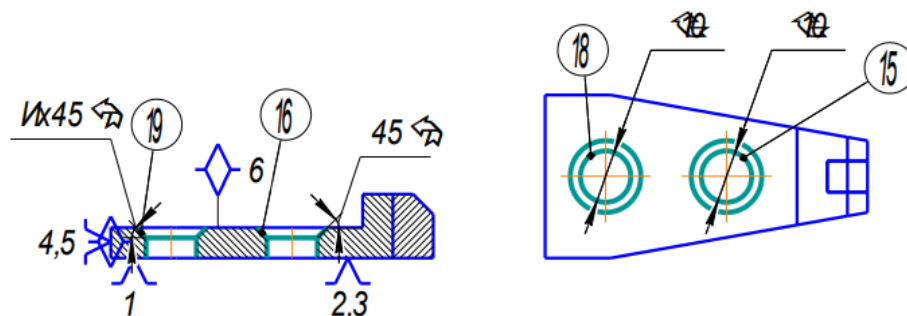


Рисунок 4.1 – Операційний ескіз

Матеріал оброблюваної заготовки 12X18H10T  $\sigma_B = 550$  МПа.

Матеріал різальної частини свердла Р6М5.

Максимальний діаметр свердла  $D = 6,5$  мм.

Глибина отвору, що обробляється - напрохід

Розрахунок режимів різання.

Для проектування консольного скальчастого кондуктора використовуються значення, визначення яких описано у розділі 3.

$M_{кр} = 2051$  Нмм – максимальний крутний момент, що виникає в процесі обробки.

$P_0 = 345,8 \text{ Н}$  – максимальна осьова сила, що виникає у процесі обробки деталі.

На рис. 4.2 вказано схему дії сил різання під час технологічної обробки деталі.

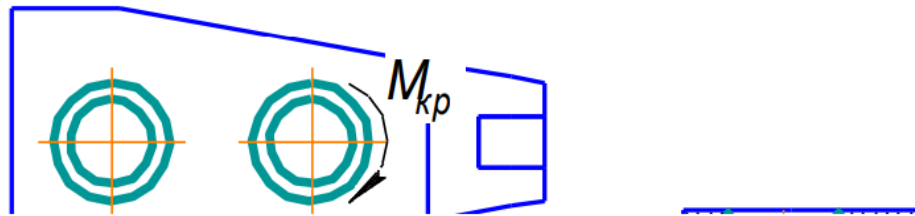


Рисунок 4.2 – Схема дії сил різання

Розрахунок зусилля затиску.

При свердлінні на заготовку діє осьова сила і виникаючий при цьому крутний момент.

Так як використовується кондукторна плита і заготовка розташовується на плоскому столі, ми нехтуємо діючою осьовою силою  $P_0$ .

На рис. 4.3 наведено сили, що діють при закріпленні заготовки для її оброблення.

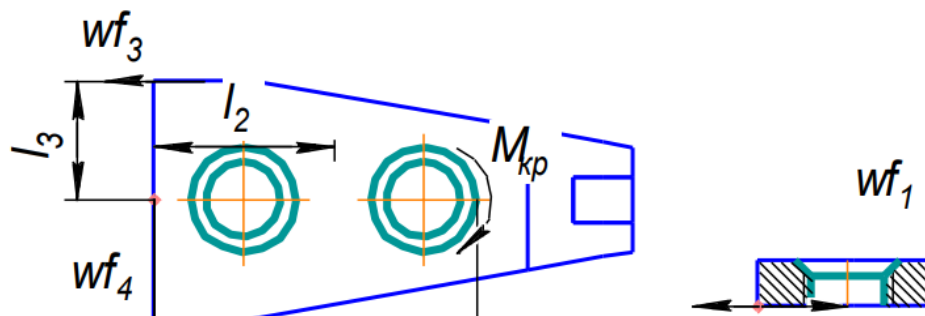


Рисунок 4.3 – Ескіз заготовки із зазначенням сил

Рівність моментів

$$\sum M = 0;$$

$$M_{кр} = M_z = Wfl. \quad (4.1)$$

Тоді сила затиску заготовки

$$W = \frac{M_{кр}}{(f_1 + f_2)l_2 + f_3l_3} = \frac{2051}{(0,18 + 0,18)12 + 0,18 \cdot 8} = 356,076 \text{ Н} \quad 4.2$$

## 4.2 Розрахунок затискного механізму та силового приводу

У конструкції консольного скальчастого кондуктора закладений Г-затискний механізм, що утворюється рамкою, кондукторною плитою і силовим приводом.

На рис. 4.4 представлена схема закріплення заготовки в кондукторі.

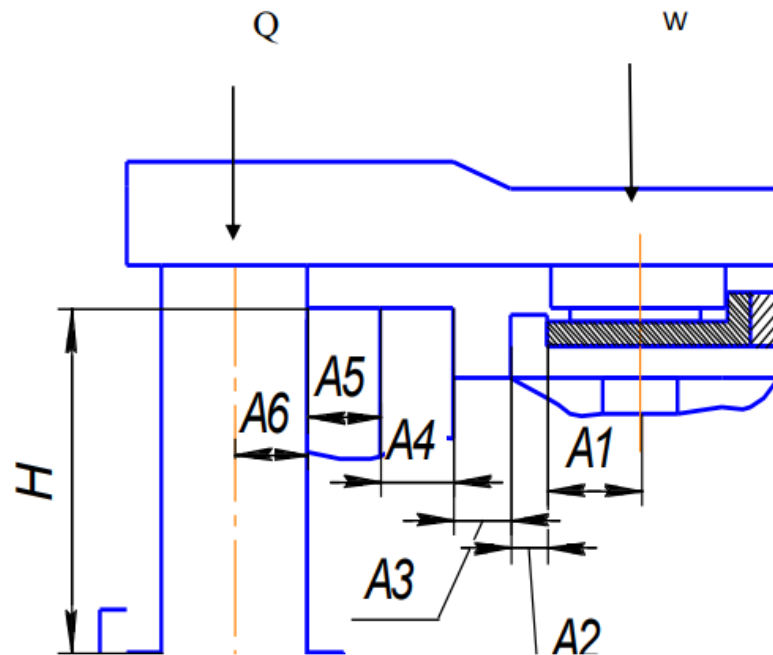


Рисунок 4.4 – Схема закріплення заготовки в кондукторі

Величина зусилля Q на штоку силового приводу

$$Q = \frac{W}{1 - \frac{3l}{H} f_1} = \frac{356,076}{1 - \frac{3 \cdot 55}{44} \cdot 0,1} = 569,722 \text{ Н}; \quad 4.3$$

де:  $f_1 = 0,1$  - коефіцієнт тертя в контакті штока з напрямними.

Діаметр поршня гідролічного приводу

$$D_n = 1,13 \sqrt{\frac{Q}{P}} = 1,13 \sqrt{\frac{569,722}{1}} = 26,972 \approx 30 \text{ мм}; \quad 4.4$$

Розміри ланок розмірного ланцюга, мм:

-  $A_1 = D_{заг}/2 = 24/2 = 12$ ;

-  $A_2 = 5$  – товщина кута закріплення;

- $A3 = 8$ ;
  - $A4 = 10$ ;
  - $A5 = 10$ ;
  - $A6 = d_{шт}/2 = 20/2 = 10$  – радіус штока силового приводу;
- $H = 0,8 \cdot 55 = 40$ .

Розрахунок пристосування на точність.

Похибка встановлення заготовки в пристрій

$$E_y = \sqrt{(E_b^2 + E_3^2 + E_{np}^2 + E_y^2)} = \sqrt{0,005^2 + 0,005^2 + 0,005^2 + 0,0186^2} = 0,0205 \text{ мм} \quad 4.5$$

де:  $E_b$  – похибка базування;

$E_3$  – похибка закріплення;

$E_{np}$  – похибка елементів пристосування.

Умова точності

$$E_y \leq 0,3 T d_2 = 0,04$$

Тому що в цій роботі використовуються змінні втулки, то необхідно розрахувати похибки усунення інструменту

$$\begin{aligned} E_{np} &\leq T - K_T \sqrt{(K_T I \cdot \varepsilon_6^2) + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_{nu}^2 + (K_T 2\omega)^2} = \\ &= 0,12 - 1,0 \sqrt{(0,8 \cdot 0) + 0 + 0 + 0,0228^2 + 0,0234^2 + (0,8 \cdot 0,12)^2} = 0,0186 \text{ мкм}; \end{aligned} \quad 4.6$$

Похибка усунення інструменту від зазорів у напрямних діаметрах кондукторної втулки (діаметри  $d$  та  $D$ )

$$\varepsilon_{nul} = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2} = \sqrt{0,008^2 + 0,022^2} = 0,0234 \text{ мкм}; \quad 4.7$$

Зміщення осі свердла за рахунок зазорів діаметром  $d$

$$\varepsilon l = 0,5 \cdot S_1 = 0,008 \text{ мкм}; \quad 4.8$$

де:  $S_1 = 0,016$  мкм – максимальний діаметральний зазор між кондукторною втулкою та свердлом;

$\varepsilon_2 = 0,022$  мкм – зміщення осі діаметрів.

Похибка від перекосу свердла

$$\varepsilon_{III2} = \frac{S_1(l_1+m)}{l} = \frac{0,016(3+5)}{7} = 0,0183 \text{ мкм.} \quad 4.9$$

де:  $m = 3 \text{ мм}$  – зазор між втулкою та поверхнею заготовки.

Умова точності виконується, отже, конструкція підібрана правильно.

### 4.3 Принцип роботи скальчастого кондуктора з механізованим приводом

Схему консольного скальчастого кондуктора наведено на рис. 4.5.

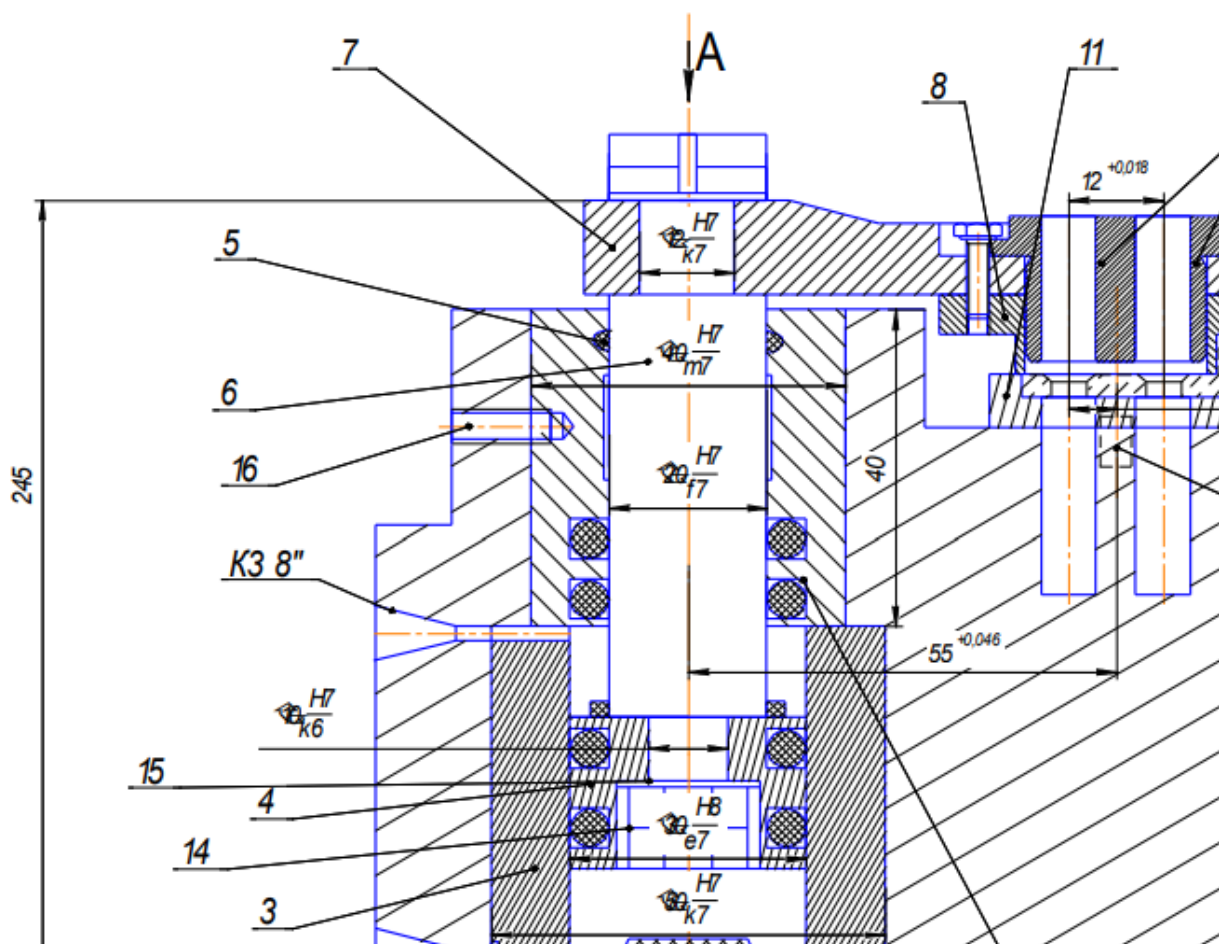


Рисунок 4.5 – Консольний скальчастий кондуктор

У нижній частині корпусу 1 розташовується гільза 3, яка є гідроциліндром, у якому переміщається поршень 4 зі штоком 6.

Постійна кондукторна плита 7 встановлена на штоку 6.

На нижній площині кондукторної плити 7 встановлюється та закріплюється змінна кондукторна плита 8 з втулками кондукторними 17.

Змінне налагодження для встановлення та закріплення оброблюваних деталей 9, 11 поміщається на площині столу корпусу пристосування за допомогою настановного пальця 10.

При надходженні рідини у верхню порожнину гідроциліндра поршень 4 зі штоком 6 переміщається вниз. У цьому випадку шток 6 з постійною кондукторною плитою 7 та прикріпленою до її нижньої площини змінною плитою 8, опускаючись, затиснуть оброблювану деталь, встановлену у змінному налагодженні 11 на столі.

Під час подачі рідини в нижню порожнину гідроциліндра 3 поршень 4 зі штоком 6, переміщаючись нагору, піднімає кондукторну плиту постійну 7 і прикріплену до неї змінну 8, і оброблювана деталь розтискається.

Підсумком цього розділу є спроектований консольний скальчастий кондуктор з силовим гідравлічним приводом на кресленні форматом А1 та складена відповідна специфікація, представлена у додатку (додаток Б).

Характеристики та параметри спроектованого пристрою повністю відповідають вимогам, викладеним у завданнях на проектування.

#### **4.4 Визначення стратегії механічної обробки планки опорної на операціях**

##### **4.4.1 Розрахунок режимів різання та проектування технологічної налагодження на фрезерну операцію N 025**

Розробимо технологічне налагодження та розрахуємо режими різання на операцію № 025.

Під час розрахунку режимів різання використовували розділ 3.

Вибір обладнання: згідно з технологічним маршрутом будемо використовувати вертикально-фрезерний верстат 6Н12ПБ.

Вибір пристосувань: згідно з технологічним маршрутом будемо використовувати пристрій спеціальний комбінований виріб різального інструменту: при фрезеруванні будемо використовувати фрезу кінцеву, циліндричну з конічним хвостовиком Тип 1 Виконання 1 32x19x115 ДСТУ 23248-78.

Операційний ескіз фрезерної операції представлений на рис. 4.6.

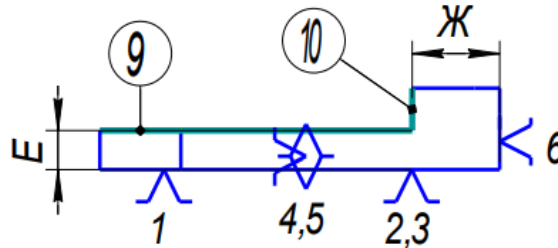


Рисунок 4.6 – Операційний ескіз на фрезерну операцію N 025

Розрахунок режимів різання.

Швидкість різання при фрезеруванні, м/хв.

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{t^x \cdot B^u \cdot T^m \cdot s_z^y \cdot z^p} \cdot K_v = \frac{22,5 \cdot 32^{0,35}}{3,5^{0,21} \cdot 25^{0,03} \cdot 100^{0,27} \cdot 0,09^{0,48} \cdot 4^{0,1}} \cdot 1 = 42,126 \quad 4.10$$

де:  $C_v = 22,5$  – коефіцієнт, що враховує профіль фрези;

$D = 32$  мм – діаметр фрези;

$K_1 = 1$  – поправний коефіцієнт, що характеризує твердість оброблюваного матеріалу;

$K_2 = 1$  – поправний коефіцієнт, що характеризує схему закріплення фрези;

$K_3 = 1$  – поправний коефіцієнт, що характеризує тип оброблюваного матеріалу;

$t = 0,2$  мм – товщина знімається припуску;

$B = 25$  мм – стійкість фрези;

$s_z = 0,09$  мм/зуб – подача на зуб фрези;

$z = 4$  – кількість зубів фрези.

Частота обертання фрези, об/хв.

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 42,126}{\pi \cdot 32} = 419,035, \quad 4.11$$

Колова сила різання

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^h \cdot z}{D^q \cdot n^w} K_{mp} = \frac{10 \cdot 82 \cdot 3,5^{0,75} \cdot 0,09^{0,6} \cdot 25^{1,0} \cdot 4}{32^{0,86} \cdot 419,035^0} \cdot 0,911 = 2511,779, \text{ Н}; \quad 4.12$$

де:  $C_p$  – коефіцієнт і  $x, y, h, q, w$  - показники ступеня;  $K_{mp}$  – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу.

Ефективна потужність різання

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{2511,779 \cdot 42,126}{1020 \cdot 60} = 1,729, \text{ кВт}; \quad 4.13$$

Тепер розрахуємо норми часу для цієї операції.

Основний час, хв.

$$T_0 = \frac{L}{s_z \cdot n \cdot z} \cdot i = \frac{106,488}{0,09 \cdot 419,035 \cdot 4} \cdot 1 = 0,759 \quad 4.14$$

де:  $L$  – розрахункова довжина обробки, мм;  $i$  – кількість проходів.

Допоміжний час визначається у частках від основного, хв.

$$T_B = 0,20 \cdot T_0 = 0,20 \cdot 0,609 = 0,141 \quad 4.15$$

Час обслуговування та час перерв визначаються в частках від суми допоміжного та основного часів.

Час обслуговування, хв.

$$T_{об} = 0,06 \cdot (T_0 + T_B) = 0,06 \cdot (0,759 + 0,141) = 0,054 \quad 4.16$$

Час перерви, хв.

$$T_{пер} = 0,025 \cdot (T_0 + T_B) = 0,025 \cdot (0,609 + 0,122) = 0,023; \quad 4.17$$

Підставивши знайдені значення формулу знайдемо штучний час на операції фрезерування, хв.

$$T_{ум} = T_0 + T_B + T_{об} + T_{пер} = 0,759 + 0,141 + 0,054 + 0,023 = 0,977 \quad 4.18$$



#### 4.4.2 Розрахунок режимів різання та проектування технологічного налагодження на свердлильну операцію N 040

Розробимо технологічне налагодження та розрахуємо режими різання на операцію N 040.

Вибір обладнання: згідно з технологічним маршрутом будемо використовувати вертикально-свердлильний верстат 2A135.

Вибір пристосувань: згідно з технологічним маршрутом будемо використовувати консольний скальчастий кондуктор з гідравлічним силовим приводом.

Вибір різального інструменту: при свердлінні будемо використовувати спеціальний східчастий свердло з циліндричним хвостовиком 4,5x6,5x80x20.

Операційний свердлильний ескіз представлений на рис. 4.7.

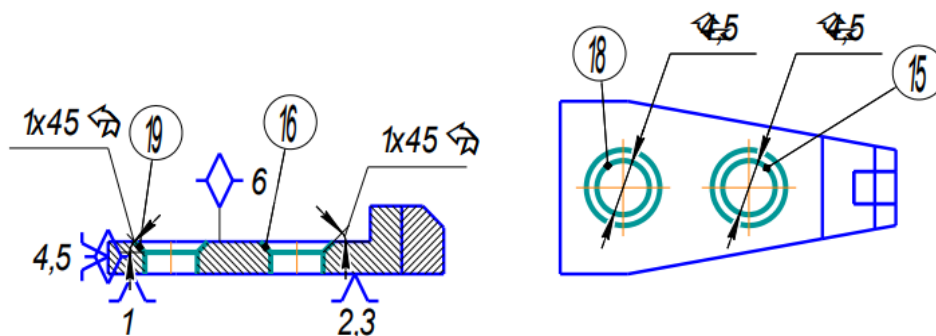


Рисунок 4.7 – Операційний ескіз на свердлильну операцію N 040

Повний розрахунок режимів різання для свердлильних операцій проводиться у розділі 3.

Розрахуємо норми часу для цієї операції/

Основний час, хв.

$$T_o = \frac{L}{n \cdot s} = \frac{13,103 \cdot 2}{223,258 \cdot 0,19} = 0,6178$$

Допоміжний час, хв.

$$T_B = 0,40 \cdot T_o = 0,40 \cdot 0,618 = 0,247$$

Час обслуговування, хв.

$$T_{об} = 0,06 \cdot (T_0 + T_с) = 0,06 \cdot (0,618 + 0,247) = 0,052$$

Час перерви, хв.

$$T_{пер} = 0,025 \cdot (T_0 + T_с) = 0,025 \cdot (0,618 + 0,247) = 0,0216$$

Штучний час, хв.

$$T_{шт} = T_0 + T_B + T_{об} + T_{пер} = 0,618 + 0,247 + 0,052 + 0,0216 = 0,939$$

#### 4.4.3 Розрахунок режимів різання та проектування технологічного налагодження на шліфувальну операцію N 055

Проведемо розрахунок режимів різання та розробимо технологічну налагодження на операцію N 055.

Дана шліфувальна операція проходить у один перехід. Припуск на операції, що знімається, прийемо рівним 0,2 міліметра.

Вибір обладнання: згідно з технологічним маршрутом будемо використовувати плоскошліфувальний верстат JPSG-0618H.

Вибір пристосувань: згідно з технологічним маршрутом будемо використовувати пристрій спеціальний комбінований.

Вибір різального інструменту: при шліфуванні будемо використовувати Круг алмазне шліфувальне плоске прямого профілю форми 1A1 200x6x76, 2x3 ДСТУ Р 53923-2010.

Операційний ескіз представлений на рис. 4.8.

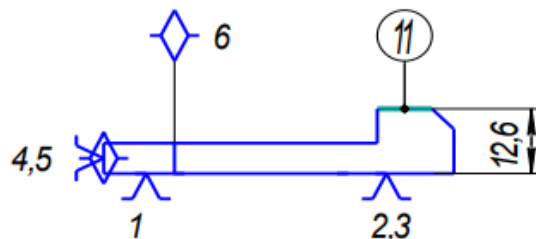


Рисунок 4.8 – Операційний ескіз шліфувальної операції N 055

Розрахунок режимів різання.

На цій операції обробляється плоска поверхня планки опорної, для обробки поверхні використовуємо периферію круга.

Для розрахунку режимів різання користуємося вихідними даними представленими у розділі 3.

Розрахункова потужність шліфування

$$N = C_N \cdot v_3^r \cdot t^x \cdot s^y = 0,68 \cdot 10^1 \cdot 0,2^{0,8} \cdot 1,8^{0,8} = 3,003 \text{ кВт}; \quad 4.19$$

де:  $C_N$  – коефіцієнт і  $r, y, z, q$  показники ступеня – табличні дані,

$V_3$  – швидкість обертання заготовки, м/хв;

$s$  – поперечна подача, мм/об;

$d$  – діаметр шліфування, мм;

$b$  – ширина шліфування, мм;

Частота обертання шліфувального круга, об/хв.

$$n_K = \frac{1000 \cdot v_K}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 2100}{\pi \cdot 200} = 3342,254 \quad 4.20$$

де:  $V_K$  – швидкість обертання шліфувального круга, м/хв;

$d$  – діаметр круга, мм.

През <  $N_{\text{станка}} \cdot \eta = 7,5 \text{ кВт}$  (за паспортом верстата), робимо висновок, що цей верстат підходить.

Тепер розрахуємо норми часу.

Основний час, хв.

$$T_o = \frac{L + l_1 + l_2}{V_3 \cdot 1000} \cdot \frac{h}{t} \cdot \frac{1}{m} \cdot K = \frac{89,47 + 5 + 5}{10 \cdot 1000} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 15 = 0,149;$$

де:  $L = 89,47$  мм – довжина поверхні, що обробляється;

$l_1 = 5$  мм – довжина врізування;  $l_2 = 5$  мм – довжина перебігу;

$V_3 = 10$  м/хв - швидкість поздовжнього переміщення деталей;

$h/t = 1$  – тому що ми застосовуємо глибинне шліфування припуск на обробку та глибина шліфування дорівнюють 0,2 мм, відповідно їх відношення дорівнює одиниці;

$m = 1$  – кількість деталей, що одночасно обробляються (при послідовне шліфування);

$K = 15$  – коефіцієнт шліфування для круга з алмазоносним шаром для виконання операції.

Допоміжний час, хв.

$$T_B = 0,40 \cdot T_0 = 0,40 \cdot 0,149 = 0,060$$

Час обслуговування, хв.

$$T_{об} = 0,06 \cdot (T_0 + T_е) = 0,06 \cdot (0,149 + 0,060) = 0,0125$$

Час перерви, хв.

$$T_{пер} = 0,025 \cdot (T_0 + T_е) = 0,025 \cdot (0,149 + 0,06) = 0,0052$$

Штучний час, хв.

$$T_{шт} = T_0 + T_B + T_{об} + T_{пер} = 0,149 + 0,06 + 0,0125 + 0,0052 = 0,227$$

Тепер розробимо технологічну налагодження та операційну карту на цю операцію.

#### 4.5 Безпека та екологічність технічного об'єкта

Конструктивно-технологічна характеристика об'єкта.

Список матеріалів, операцій та обладнання з пристроями застосовуваний у розробленому технологічному процесі зведено до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Технологічний паспорт об'єкта

Технологічний процес	Технологічна операція, вид виконуваних робіт	Найменування посади працівника, виконуючого технологічний процес, операцію	Устаткування, пристрій, пристосування	Матеріали, речовини
Виготовлення опорної планки	Заготівельна	Оператор	Верстат відрізний Friggi VAS OSF Тиски автоматичні HWE-AMV160L-C	12X18H10T СОЖ
	Фрезерна		Горизонтально-фрезерний верстат	

			6П80Г, ПСКЗ	
			Універсально-фрезерний верстат 6Н81, Тиски 7201-0001 ДСТУ 16518-96	
			Вертикально-фрезерний верстат 6Н12ПБ, ПСК	
	Пайка	Зварювальник	Зварювальний напівавтомат М 3030 automotive, Тиски 7201-0001 ДСТУ 16518-96	12Х18Н10Т ВК8ПСР 10
	Свердлильна	Оператор	Вертикально-свердлильний верстат 2А135, Консольний скальчастий кондуктор спеціальний	12Х18Н10Т СОЖ
	Нарізування різьбі		Вертикально-свердлильний верстат 2С132К, ПСК	
	Шліфувальна		Плоскошліфувальний верстат JPSG-0618Н, ПСК	
	Мийна	Оператор мийного обладнання	Мийна машина Сівер 80 НТ	
	Контроль	Контролер верстатних робіт	Ручні вимірювальні прилади	

ПСК – приспособлення спеціальне, комбіноване

## 5 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Безпека в надзвичайних ситуаціях

#### 5.1. Забезпечення екологічної безпеки аналізованого технічного об'єкта

Таблиця 5.1 - Ідентифікація екологічних факторів технічного об'єкта

Найменування технічного об'єкта, технологічного процесу	Структурні складники технічного об'єкта, технологічного процесу	Вплив технічного про об'єкт на атмосферу	Вплив технічного об'єкта на гідросферу	Вплив технічного об'єкта на літосферу
ТП виготовлення опорної планки	Верстат відрізний Friggi VAS OSF	Викид відходів у вигляді стружки та частинок мікропилу від ріжучого інструменту та заготовки	Використання води з джерел водопостачання, викид хромованої стружки в гідравлічну систему	Утворення відходів, забруднення рослинного покриву із за мікропилу
	Горизонтально-фрезерний верстат 6П80Г			
	Універсально-фрезерний верстат 6Н81			
	Вертикально-фрезерний верстат 6Н12ПБ			
	Зварювальний напівавтомат М 3030 automotive			
	Вертикально-свердлильний верстат - 2А135	Викид відходів у вигляді стружки та		

	Вертикально-свердильний верстат 2С132К	частинок мікропили від ріжучого інструменту та заготовки		
	Плоскошліфувальні верстат JPSG-0618H			
	Мийна машина Сівер 80 НТ			

### 5.1.2 Організаційно-технічні заходи зниження негативного антропогенного впливу на навколишнє середовище

Таблиця 5.2 – Розроблені організаційно-технічні заходи щодо зниження негативного антропогенного впливу технічного об'єкта на навколишнє середовище

Найменування технічного об'єкта	Токарне, підрізне, шліфувальне обладнання
Заходи щодо зниження негативного антропогенного впливу на атмосферу	Застосування сухих пиловловлювачів такі як циклони та апарати нейтралізації газових викидів
Заходи щодо зниження негативного антропогенного впливу на гідросферу	Застосовується хімічний метод очищення, у якому видаляються канцерогенні речовини
Заходи щодо зниження негативного антропогенного впливу на літосферу	Застосовується біологічне очищення за допомогою спеціальних пристроїв

### 5.1.3 Ідентифікація виробничо-технологічних та експлуатаційних професійних ризиків

Таблиця 5.3 - Ідентифікація професійних ризиків

Виробничо-технологічна та/або експлуатаційно-технологічна операція, вид виконуваних робіт	Небезпечний та/або шкідливий виробничий фактор	Джерело небезпечного та/або шкідливого виробничого фактор
Заготівельна 000	Рух механізмів верстата	Полотно пересування заготовок
	Висока напруга електричного ланцюга верстата	Електродвигун верстата працює від напруги більше 360В
	Гострі кромки, задирки, шорсткість на поверхні заготовок, ріжучого інструменту та обладнання	Ріжуча поверхня пилки гостро заточена
Фрезерна 005-030	Рухливі механізми верстата	Стіл та обертовий шпindelь верстата
	Підвищене запилення та загазованість повітря в робочій зоні	Випаровування СОЖ
	Підвищена чи знижена температура на поверхні обладнання, матеріалів	Поверхні заготовок та різального інструменту в зоні контакту
	Високі значення напруги в електричному ланцюгу верстата	Струм споживаний верстатом
	Гострі кромки, задирки, шорсткість на поверхні заготовок ріжучого інструменту та обладнання	Заготівля, ріжучий інструмент
	Канцерогенні речовини	СОЖ
Пайка 035	Підвищена температура на поверхні обладнання та матеріалів	Високі значення температури в зоні контакту інструменту із заготівлею



	Високі значення напруги в електричному ланцюзі	Струм споживаний апаратом
	Підвищена загазованість повітря у робочій зоні	Газ для паяння
Свердлильна 040	Рухомі механізми верстата	Стіл і обертовий шпindelь верстата
	Підвищене запилення та загазованість повітря в робочій зоні	Випаровування СОЖ
	Підвищена чи знижена температура на поверхні обладнання, матеріалів	Поверхні заготовок та різального інструменту в зоні контакту
	Високі значення напруги в електричному ланцюгу верстата	Струм споживаний верстатом
	Гострі кромки, задирки, шорсткість на поверхні заготовок ріжучого інструменту та обладнання	Заготівля, ріжучий інструмент
	Канцерогенні речовини	СОЖ
Нарізання різьбі 045	Рухомі механізми верстата	Стіл і обертовий шпindelь верстата
	Підвищене запилення та загазованість повітря в робочій зоні	Випаровування СОЖ
	Підвищена чи знижена температура на поверхні обладнання, матеріалів	Поверхні заготовок та різального інструменту в зоні контакту
	Високі значення напруги в електричному ланцюгу верстата	Струм споживаний верстатом
	Гострі кромки, задирки, шорсткість на поверхні заготовок ріжучого інструменту та обладнання	Заготівля, ріжучий інструмент
	Канцерогенні речовини	СОЖ

Шліфування 050-065	Рухомі частини верстата	Шліфувальний круг з високим значенням швидкості обертання
	Підвищена чи знижена температура на поверхні обладнання та матеріалів	Високі значення температури в зоні контакту інструменту із заготівлею
	Підвищений шум у зоні роботи	Робочі механізми шліфувального верстата
	Високий рівень вібрації	Шліфувальні круги з хаотичним розташуванням алмазних зерен
	Високі значення напруги в електричному ланцюгу верстата	Струм споживаний верстатом
	Підвищене запилення та загазованість повітря в робочій зоні	Алмазна пила
Мийна 070	Канцерогенні речовини	Рідина для промивання
Контрольна 075		

## 5.2 Охорона праці

### 5.2.1 Методи та технічні засоби зниження професійних ризиків

Таблиця 5.4 – Методи та засоби зниження впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Небезпечний та/або шкідливий виробничий фактор	Організаційні методи та технічні засоби захисту, зниження, усунення небезпечного та / або шкідливого виробничого фактор	Засоби індивідуального захисту працівника
--	---	---

Рухомі механізми верстата	Проведення інструктажу з техніки безпеки при використанні обладнання, застосування спеціальних огорож	Робочий костюм, рукавички та фартух для захисту від загальних виробничих забруднень та механічних впливів, спеціальне робоче взуття, каска захисні, захисні окуляри
Високе значення напруги в електричному колі	Ізоляція електропроводки, спеціальне заземлююче покриття, наявність запобіжників	Рукавиці або рукавички прогумовані
Гострі кромки, задирки, шорсткість на поверхні заготовок ріжучого інструменту та обладнання	Використання в техпроцесі слюсарних переходів для округлення гострих кутів та видалення задирок	При транспортуванні використовувати рукавички прогумовані або спеціалізовані рогачі
Підвищене запилення та загазованість у робочій зоні	Введення засобів вентиляції робочої зони, використання пилозбірників, ведення робіт у віддаленій від людини зоні	Засіб індивідуального захисту органів дихання (СІЗОД) проти-аерозольні
Високі значення температури на поверхні обладнання, матеріалів	Використовувати СОЖ	Рукавиці комбіновані
Канцерогенні речовини	Використання речовин у мінімальній кількості з автоматичним розпиленням та доставкою	Засіб індивідуального захисту органів дихання (СІЗОД) проти-аерозольні
Високий рівень шуму на робочому місці	Використання звукоізоляції при виготовлення обладнання	Навушники проти шуму або спеціальні вкладиші
Високий рівень вібрації	Використання проти-вібраційного покриття, демпфуючих опор	Спеціальне робоче взуття

## 5.2.2 Забезпечення пожежної та техногенної безпеки розглянутого технічного об'єкта

Таблиця 5.5 - Ідентифікація класів та небезпечних факторів пожежі

Ділянка, підрозділ	Обладнання	Клас пожежі	Небезпечні фактори пожежі	Супутні прояви факторів пожежі
Заготівельний	Верстат відрізний Friggi VAS OSF	В	Тепловий потік, вогонь, іскри, висока температура навколишнього середовища, висока концентрація токсичних газів виділених продуктами горіння та термічного розкладання, низький рівень концентрації кисню, зниження рівня видимості в диму	Виникаючі в процесі пожежі уламки технологічної системи (оснащення, обладнання, інструмент), частини зруйнованих споруд, транспортних засобів, матеріалів, виробленої продукції, що виділяються при горінні рідин та інших матеріалів токсичні гази, що потрапили в навколишнє середовище, замикання високого електричного напруги на струмопровідні частини технологічної системи, вибухонебезпечні фактори, що з'являються через пожежі,
Фрезерний	Горизонтально-фрезерний верстат 6П80Г, Універсально-фрезерний верстат 6Н81, Вертикально-фрезерний верстат 6Н12ПБ			
Паяння	Зварювальний напівавтомат М 3030 automotive			
Свердлильний	Вертикально-свердлильний верстат 2А135			
Нарізання різьбі	Вертикально-свердлильний верстат 2С132К			
Шліфувальний	Плоскошліфовий авт. верстат JPSG-0618Н			
Мийний	Мийна машина Сівер 80 НТ			

				термохімічні впливи, які застосовують при гасінні на речовини, предмети та людей
--	--	--	--	--

### 5.2.3 Розробка технічних засобів та організаційних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки технічного об'єкта

Таблиця 5.6 – Технічні засоби забезпечення пожежної безпеки

Первинні засоби пожежогасіння	Мобільні засоби пожежогасіння	Стаціонарні установки системи пожежогасіння	Засоби пожежної автоматики	Пожежне обладнання
Пінні та водні	Повітряні мотопомпи	Встановлення водного гасіння	Теплові	Водо-пінне обладнання
Порошкові		Спринклерні	Димові	Генератори піни
		Дренчерні	Світлові	Гідрант
Засоби індивідуального захисту та порятунку людей під час пожежі	Пожежний інструмент (механізований та немеханізований)		Пожежні сигналізація, зв'язок та оповіщення	
Респиратори	Лопата совкова		Локальне сповіщення	
Протигаз	Багор		Зв'язок з апаратури	
Форма з матеріалом з спеціального волокна	Відро			

Таблиця 5.7 - Організаційні заходи щодо запобігання пожежі

Найменування технологічного процесу, обладнання технічного об'єкта	Найменування видів реалізованих організаційних (організаційно-технічних) заходів	Висувні вимоги щодо забезпечення пожежної безпеки, ефекти що реалізуються
ТП виготовлення опорної планки	<p>Організація пожежної охорони, організація служб з пожежної безпеки згідно з законодавством, дотримання наявності паспорта матеріалів, виробів, техпроцесів, будівель та споруд із забезпечення пожежної безпеки; організація інструктажів з техніки безпеки на виробництві та громадських об'єктах перебування людей; розробка та застосування норм та правил щодо пожежної безпеки, інструкції з експлуатації пожежонебезпечних речовин, матеріалів, дотримання проти пожежного режиму та за діями при виникненні</p>	<p>Усунення пожежі має бути досягнуто виключенням утворення пального середовища та (або) усунення виникнення у паливному середовищі (або впровадження в її) джерел горіння. Усунення виникнення пального середовища має бути забезпечено одним з наступних способів або їх комбінацій:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- максимально можливе використання негорючих та важкогорючих речовин та матеріалів;</li> <li>- обмеження обсягу та маси горючих речовин та матеріалів,</li> <li>- визначення найбільш безпечного способу їх розміщення згідно умовам технології та будівництва;</li> <li>- застосування ізоляції пального середовища за допомогою ізольованих камер, відсіків тощо;</li> <li>- контроль за концентрацією середовища і під тримання нормованої концентрації згідно з правилами та іншими нормативно-технічними документами з безпеки;</li> <li>- контроль температури та тиску середовища, за певних значень яких поширення полум'я виключається;</li> <li>- максимальне застосування механізованих та автоматизованих технологічних процесів, використовують горючі речовини;</li> </ul>

	<p>пожежонебезпечної ситуації; виготовлення та використання спеціальних агітуючих знаків щодо забезпечення пожежної безпеки; правила зберігання речовин матеріалів, гасіння яких не уявляється можливим одними й тими самими засобами пожежогасіння в залежності від їх фізико-хімічних та пожежо-небезпечних властивостей; розподіл кількості людей на території об'єкту за умовами їхньої безпеки при виникненні пожежі; розробка правил дії службовців, робочих і населення.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- встановлення пожежо-небезпечного обладнання;</li> <li>- розробка правил з діями адміністрації, робітників, службовців та населення задовольняє вимогам електростатичної безпеки проти іскор;</li> <li>- пристрій захисту будівель, споруд від блискавок;</li> <li>- контроль оптимальної температури на поверхні машин, механізмів, обладнання, речовин, матеріалів, які можуть контактувати з палим середовищем;</li> <li>- усунення появи іскри в пожежо-небезпечному середовищі;</li> <li>- використання інструменту, який не викликає іскри при роботі з горючими рідинами та газами;</li> <li>- виключення умов для теплового, хімічного та мікробіологічного самозаймання використовуваних речовин, матеріалів, виробів та конструкцій.</li> </ul> <p>Обмеження обсягу та маси горючих речовин та матеріалів, визначення найбільш безпечного способу їх розміщення згідно умовам технології та будівництва повинні досягатися одним з наступних способів або їх комбінацією:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- зменшення маси та обсягу горючих речовин та матеріалів, які одночасно перебувають у приміщенні або на відкритих майданчиках;</li> <li>- влаштування аварійного зливу горючих рідин та втручання горючих газів із устаткування;</li> <li>- усунення горючих відходів виробництва;</li> </ul> <p>Заміна горючих рідин на негорючі технічні миючі засоби.</p>
--	---	---

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було вирішено наступні завдання:

1. Вивчено та проаналізовано сферу застосування та умови виготовлення планки опорної.

2. Розроблено теоретичні схеми базування, вибрано кошти технологічного оснащення, обраний технологічний маршрут обробки планки опорної.

3. Розроблено технологічний процес виготовлення планки опорної.

4. Спроектовано пристрій – скальчастий кондуктор з гідравлічним приводом.

5. Спроектований ріжучий інструмент - ступінчасте спіральне свердло з циліндричним хвостовиком.

6. Проведено аналіз температури шліфування

7. Розраховані режими різання, норми часу та спроектовані налагодження на три різнохарактерні операції - свердлильну, фрезерну та шліфувальну.

В результаті роботи було отримано технологію виготовлення планки опорної, на основі температурного аналізу було прийнято рішення про використання в процесі виготовлення планки опорної алмазних шліфувальних кругів.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Якимов О.В., Гусарев В.С., Якимов О.О., Линчевський П.А. Технологія автоматизованого машинобудування: Підручник. – К.: ІСДО, 1994.- 400 с.
2. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія холодного штампування та конструювання штампів». Укладачі: Орлюк М.В., Добровлянський С.М., Вишневський П.С., Калантир С.Ф., Київ 2009. 4. Справочник по оборудованию для листовой штамповки, С74/Л.И. Рудман, А.И. Зайчук, В.Л. Марченко и др.; Под общ. ред. Л.И. Рудмана. – К.: Техника, 1989. – 231 с.
3. Пересунько М.П., Башкатова Н.М., Любов В.О., Воеводін А.Б. Проектування технологічного оснащення. – К.: Маріупольський індустріальний технікум, 1996. – 228 с. 4. Гевко Б.М., Дичковський М.Г., Матвійчук А.В. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої. Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2009. – 220 с. Допоміжна (Д) 1 Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування: Навчальний посібник. – Львів: Магнолія 2006, 2007. – 500 с.
4. Черпаков Б. І. Техногічна оснастка: Підручник для установ серед. проф. освіти. – М.: Видавничий центр “Академія”, 2003. – 288 с. 3 Кузнєцов Ю.Н.
5. Мироненко О. М. Курсове проектування з дисциплін «Проектування пристосувань», «Системи автоматизованого проектування технологічної оснастки» : навчальний посібник / О. М. Мироненко, Ю. А. Буренніков. – Вінниця : ВНТУ, 2007. – 61 с.
6. Контрольно-вимірювальні пристрої технологічних машин : навчальний посібник / За ред. проф. З. А. Стецька. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 321 с. 12. Складальні процеси в машинобудуванні : навчальний посібник / Уклад. : В. В. Савуляк. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 99 с.
7. Технологія машинобудування. Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт. Навчальний посібник / І. І. Юрчишин, Я. М. Литвиняк, І. Є. Грицай, М. Л. Кукляк, Я. М. Кусий, В. В. Ступницький, В. А. Яцюк, А. М. Кук, Є. М. Махоркін, В. П. Свізінський / За ред. І. І. Юрчишина. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. 528 с.

8. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»; 133 «Галузеве машинобудування» / Ю.М. Малафєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. - Електронні текстові дані (1 файл: Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. - 201 с

9. Залога В.О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник / В.О.Залога, В.Д. Гончаров, О.О. Залога; за заг. ред. В.О. Залоги. - Суми: Сумський державний університет, 2013. – 371 с.

10. Теорія різання: метод. вказівки до практ. занять та самост. роботи студ. напряму підготовки бакалаврів 0505 «Інженерна механіка» / Уклад.: В.Г. Біланенко, О.О. Мельник, В.М. Кореньков.- К :НТУУ «КПІ», 2010 – 116 с.

11. Добротин Б.В., Яценко Я.В. Технология котло- и парогенераторостроения. – К.: Вища школа, 1984 - 231 с.

12. Богуслаев В.А. Основы технологии машиностроения: Учебное пособие для студ. вузов / Богуслаев В.А., Цыпак В.И., Яценко В.К. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2003. - 335 с., ил

13. Технологічні основи машинобудування. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт і самостійної роботи студентів інженернохімічного факультету та механіко-машинобудівного інституту / Укл. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Субін А.А., Гриценко В.М. Під редакцією Петракова Ю.В. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. 112 с

14. Проектування та виробництво заготовок. Підручник для студ. машинобудівних спеціальностей ВНЗ. /С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв, Є.С. Пуховський. / Під редакцією Коренькова В.М. – К.: НТУУ «КПІ», 2014 – 353 с.

15. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Проектування та виробництво заготовок» Проектування та виробництво литих заготовок. (Частина І). Укладачі: Добрянський С.С., к.т.н., доц., Малафєєв Ю.М., к.т.н., доц. / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. - 42ст. [Електронний ресурс].

16. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Проектування та виробництво заготовок» Проектування та

виробництво штампованих заготовок. (Частина II). Укладачі: Добрянський С.С., к.т.н., доц., Малафєєв Ю.М. к.т.н., доц. / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 73 ст. [Електронний ресурс].

17. Методичні вказівки до виконання курсової роботи (проекту) і самостійної роботи для студентів інженерно-хімічного факультету та механіко-машинобудівного інституту з дисципліни «Технологічні основи машинобудування та технологія машинобудування» / Уклад.: С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв, В.К. Фролов. – / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 79 ст. [Електронний ресурс].

18. Технологія машинобудування: методичні рекомендації до вивчення дисципліни для студентів інженерно-хімічного факультету та 199 механіко-машинобудівного інституту. Ілюстративний матеріал. / Уклад. С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв, В.К. Фролов. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017 – 92 с. [Електронний ресурс].

19. Проектування гнучких виробничих систем машинобудування. Навчальний посібник для студентів ВНЗ машинобудівних спеціальностей. / Пуховський Є.С., Малафєєв Ю.М. Частина I. / Під редакцією Коренькова В.М. - К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 286 с.

20. Проектування гнучких виробничих систем машинобудування. Навчальний посібник для студентів ВНЗ машинобудівних спеціальностей. / Пуховський Є.С., Малафєєв Ю.М., С.С. Добрянський. Частина II. / Під редакцією Коренькова В.М. - К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 204 с.

21. Технологічні основи машинобудування. Навчальний посібник для студентів спеціальності 131. «Прикладна механіка» інженернохімічного факультету та механіко-машинобудівного інституту. / С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв, А.А. Субін, В.М. Гриценко – К.: НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 112 с.

22. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / Під ред. Я.Г. Бедрія. Львів, 1997. 275с.

23. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці : підручник (видавн. 5-те, доповнене). Л.: Афіша, 2000. 350 с.

**ДОДАТКИ**