

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.О. Залога

« ____ » _____ 20__ р.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСУ 1.478.15.274.01
ШЛЯХОМ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ОПЕРАЦІЇ ПЛОСКОГО ШЛІФУВАННЯ**

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
Магістерська кваліфікаційна робота
Спеціальність *131 Прикладна механіка (Технології машинобудування)*
верстати та інструменти

Студент

М. В. Лавренко

Керівник

І. М. Дегтярьов

Консультант з охорони праці
та безпеки в надзвичайних ситуаціях

В. В. Фалько

Нормоконтроль

О. В. Івченко

Суми – 2018

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	7
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла деталі. Опис конструктивних особливостей деталі і умов експлуатації	7
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення	13
1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва	15
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі	16
1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу.....	20
1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	29
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	32
2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального.....	32
2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки	33
2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання	38
2.4 Розмірний аналіз технологічного процесу для лінійних розмірів	40
2.5 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення	47
2.6 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів	50
2.7 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів.....	52
2.8 Розрахунок режимів різання.....	55
2.9 Технічне нормування операцій.....	62
2.10 Проектування верстатного пристрою	66
2.11 Висновки.....	74
РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	75
3.1. Особливості й основні схеми плоского торцевого шліфування	77
3.2. Методика визначення параметрів зони контакту різальної поверхні круга з деталлю в умовах попереднього нахилу осі шпинделя.....	80
3.3. Методика математичної обробки результатів експериментальних досліджень.....	84

3.4	Методологія 3D-комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану систем «синтетичний полікристалічний алмаз-металофаза-металева покриття» та «алмазне зерно-зв'язка круга-оброблювальний матеріал»	87
3.5	Дослідження впливу умов обробки на довжину зони контакту різальної поверхні круга з деталлю	90
3.6	Теоретичні розрахунки площі контакту круга з деталлю при плоскому торцевому шліфуванні з нахилом осі шпинделя	95
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ		110
4.1	Аналіз шкідливих і небезпечних факторів на дільниці з виготовлення деталі «Корпус»	110
4.2	Розрахунок повітря робочої зони, розрахунок загальнообмінної вентиляції	116
4.3	Безпека в надзвичайних ситуаціях	122
4.4	Висновки	125
Висновки		126
Список джерел посилань		128
ДОДАТОК А КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ КОРПУС		133
ДОДАТОК Б ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ КОРПУС		134

ВСТУП

Актуальність теми. Машинобудування, що поставляє нову техніку у всі галузі народного господарства, визначає технічний прогрес країни і робить вирішальний вплив на створення матеріальної бази нового суспільства.

Відомо, що значна кількість виробів у машинобудуванні та інших галузях виробництва потребує технологічних операцій плоского шліфування. Близько 20 % деталей машинобудування мають плоскі поверхні і значна їх кількість підлягає остаточній обробці на плоскошліфувальних верстатах. При цьому, як і раніше, важливу роль продовжує відігравати багатомісна обробка, яка дозволяє суттєво підвищити показники продуктивності та точності обробки виробів. Традиційно в умовах виробництва переважно використовується плоске шліфування периферійними кругами. Лінійний характер контакту в зоні різання зумовлює високі питомі навантаження на абразивні зерна і тим самим сприяє інтенсифікації процесу їх самозаточування при значних величинах питомої витрати абразивно-алмазних матеріалів. Схема плоского шліфування торцевими алмазно-абразивними кругами займає особливе місце і може бути реалізована на верстатах з вертикальним та горизонтальним шпинделем з використанням як прямокутних, так і обертових столів. Наприклад, значна кількість торцевих кругів використовується і на заточувальних верстатах, які широко застосовуються в промисловості. Плоске торцеве шліфування має кращі показники в плані шорсткості оброблювальної поверхні, а також її макрогеометрії. Як відомо, особливістю процесів шліфування є високий рівень температур у зоні різання, що негативно позначається на якості обробки й потребує обмеження режимів (тобто зниження продуктивності) обробки. На жаль, це особливо стосується плоского торцевого шліфування, яке характеризується найбільшими значеннями дуги контакту з поверхнею деталі, а отже, і площі обробки. Це викликає утворення на шліфованих поверхнях припиків, мікротріщин, а в поверхневому шарі деталі – структурних перетворень і значних залишкових напружень розтягу, які, як правило, є несприятливими. Для багатьох деталей наявність шліфувальних дефектів може бути причиною їхніх втомних руйнувань.

Звісно, що оптимізація плоского торцевого шліфування повинна йти шляхом удосконалення факторів, що впливають на зниження його теплонапруженості. На сьогоднішній день снує багато факторів, за допомогою яких можна керувати тепловою напруженістю процесу шліфування. Це насамперед управління площею контакту круга з деталлю за рахунок попереднього нахилу осі обертання шпинделя, покращення умов охолодження зони обробки технологічною рідиною, творення механічних коливань у зоні обробки, правка різальної поверхні круга (РПК)правлячими олівцями на основі синтетичного полікристалічного алмазу (СПА) та інше. Але стосовно процесу, що розглядається, ці питання розроблені недостатньо, що значною мірою стримує ступінь його використання. Тому завдання підвищення ефективності процесу плоского торцевого шліфування за рахунок управління параметрами зони контакту круга з деталлю (тобто шляхом вдосконалення факторів, що впливають на зниження його теплонапруженості) являє собою актуальну наукову й практичну задачу.

Метою дослідження є удосконалення процесу плоского торцевого шліфування за рахунок управління параметрами зони контакту різальної поверхні круга з деталлю.

Об'єкт дослідження – процес плоского торцевого шліфування різних матеріалів алмазно-абразивними кругами.

Предмет дослідження – управління параметрами зони контакту РПК з деталлю.

Методи дослідження. Робота виконана з використанням сучасних положень теорії обробки матеріалів різанням. Для виявлення геометричних особливостей контакту РПК з деталлю в умовах процесу плоского торцевого шліфування з попереднім нахилом осі обертання шпинделя та встановлення залежностей для їх розрахунків використовували класичні положення аналітичної геометрії та геометричне комп'ютерне моделювання в середовищі КОМПАС. Для дослідження напружено - деформованого стану (НДС) систем «металева покриття-СПА-металофаза» (пайка алмазних полікристалів у державці олівця) та «алмазне зерно-

зв'язка круга-ОМ» стосовно процесу вібраційного алмазного шліфування використовувалася концепція 3D-моделювання.

Наукова новизна: розроблено науково обґрунтовані рекомендації з удосконалення процесу шліфування на верстатах як з вертикальним, так і з горизонтальним розташуванням шпинделя. Встановлено геометричні особливості контакту круга з деталлю в умовах процесу плоского торцевого шліфування з попереднім нахилом осі обертання шпинделя, та визначено чинники, які впливають на значення фізичних і технологічних параметрів зони контакту круга з деталлю, а також запропоновано залежності для їх розрахунку.

Практичне значення отриманих результатів для машинобудівної галузі полягає в обґрунтуванні та практичному застосуванні запропонованих залежностей для розрахунків параметрів зони контакту РПК з деталлю в умовах глибинного шліфування з нахилом осі обертання шпинделя як стосовно шліфування «на прохід», так і при багатопрохідній обробці. Запропоновано комплексний підхід до вирішення завдань заміни природних алмазів на СПА в алмазних правлячих олівцях та створення раціональних умов їх використання.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра. Не має.

Публікації. Не має.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 126 сторінок, у тому числі 32 рисунки, 18 таблиць, бібліографії із 50 джерел на шести сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла деталі. Опис конструктивних особливостей деталі і умов експлуатації

Запропонована деталь «Корпус» 1.478.15.274.01 для дипломного проекту є однією з найважливіших деталей насоса ЦНС 240-1900-2Т ТУ У3.19-05747991-95.

Насос типу ЦНС 240-1900-2Т ТУ У 3.19-05747991 – відцентровий, горизонтальний секційний, однокорпусний з одностороннім розташуванням коліс, підшипниками ковзання, автоматичним розвантажувальним пристроєм і кінцевими ущільненнями валу – торцевими або сальниковими.

Стисла характеристика:

- подача – 240 м³/год;
- напір – 1900 м³;
- порядковий номер модернізації – 2;
- торцеве ущільнення в конструкції насоса – Т.

Насос може бути виготовлений і іншої конструкції, де торцеве ущільнення замінено сальниковим ЦНС 240–1900–2С–М ТУ 26–06–1438-85.

На насосах ЦНС 240 ... -2 в основному зараз використовують торцеві ущільнення, які при інтенсивній роботі і навантаженнях, яких зазнає насос працюють краще ніж сальникові ущільнення, хоча і складніше в конструкції.

Насоси та агрегати електронасосні типу ЦНС 240 ... -2 призначені для закачування в нафтоносні пласти чистої води і нафтопромислових вод без вмісту сірководню. Насоси та агрегати електронасосні типу ЦНС 240 ... 2М призначені для закачування в нафтоносні пласти агресивних нафтопромислових вод, в тому числі сероводородовмісних.

Насоси виготовляються в кліматичному виконанні УХЛ, категорії розміщення 4 по ГОСТ 15150.

Насос ЦНС 240-1900-2Т ТУ У 3.19-05747991-95 відноситься до виробів за-

гального призначення (ІОН) виду 1 (відновлювані) по ГОСТ 27.003.

Насоси виготовляються в загальнопромислового виконанні і можуть встановлюватися в приміщеннях класу вибухонебезпечної зони В-16 у відповідності з ПУЕ та ВСН-8-73 (наявність сірководню в межах гранично допустимої концентрації).

Принцип дії насоса полягає в перетворенні одержуваної від приводу динамічної енергії в потенційну енергію тиску, кінетичну енергію потоку рідини, що перекачується за рахунок взаємодії з рідиною – робочих коліс ротора і напрямних апаратів статора насоса.

Агрегат складається з насоса, двигуна, а привод від насоса до двигуна здійснюється від пружної муфти.

Конструкція насоса типу ЦНС 240 розроблена з урахуванням створення на одній корпусних базі (корпусні деталі, робочі колеса та ін.) Насосів з напорами 1900 1775 1650, 1525, 1422, 1275, 1150 і 1050 метрів шляхом зміни кількості ступенів.

Основні параметри торцевого ущільнення наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри торцевого ущільнення

№ п.п.	Найменування	Величина параметра
1.	Ущільнюючий газ	природний газ
2.	Тиск ущільнюючого газу, МПа, не більше	6,37
3.	Частота обертання ротора, об/хв, не більше	6000
4.	Робоча температура пари тертя, °С, не більше	+ 120
5.	Втрати потужності в торцевому ущільненні, кВт	2
6.	Допустима подвійна амплітуда радіального переміщення (вібрації) ротора, мкм, не більше	90
7.	Допустиме осьове зміщення статорних елементів торцевого ущільнення щодо роторних (при осьовому переміщенні зі швидкістю не більше 0,1 м/с), мм	±2
8.	Допустиме осьове зміщення статорних елементів торцевого ущільнення щодо роторних, мм, не більше	±3
9.	Вміст домішок в ущільнюючому газі: розмір часток, мкм, вміст твердих частинок, мг/м вміст крапельної вологи і пари масла	5 5 не допускається
10.	Витік ущільнюючого газу на свічку через торцеве ущільнення: в динаміці не більше, нл/хв	120

№ п.п.	Найменування	Величина параметра
	В статиці не більше, нл/хв	30
11.	Запірний газ для продувки лабіринтового ущільнення	повітря
12.	Витрата запірного газу для продувки лабіринтового ущільнення, л/хв, не більше	1,0
13.	Вміст домішок в замикаючому газі, що подається для продувки лабіринтового ущільнення: розмір часток, мкм Вміст твердих частинок, мг/м ³ вміст крапельної вологи і пари масла	25 20, не допускається
14.	Маса ущільнення (без кришки торця), кг	32

Опис торцевого ущільнення.

Вузли торцевого гідродинамічного ущільнення (ТГДУ) виконані за схемою «тандем з замикаючим лабіринтом». При цій схемі вузол ТГДУ складається з двох послідовно розташованих рівнів газодинамічних ущільнень і замикає лабіринт.

Кожна із ступенів складається з упорного кільця 5 закріпленого всередині корпусних деталей 6 і 7 і рухомого в осьовому напрямку набором пружин 41 до опорного кільця 4. Кільця опорні 4 виконані з твердого сплаву і встановлені на втулці 1. Опорне кільце в осьовому напрямку нерухоме, на його робочому торці виконані динамічні пази глибиною кілька мікрон.

Робочі поверхні опорного і упорного кільця притерті до високого ступеня площинності. Вони є основним елементом ущільнення.

Очищений природний газ подається на 1-у сходинку ущільнення з тиском, що перевищує тиск всмоктування компресора на 0,1-0,5 кг/см³. Таким чином, для запобігання проникненню брудного газу з камери до ущільнення.

У вихідному положенні кільця 5 і 4 притиснуті один до одного пружинами 41. Газ, що знаходиться перед вузлами ущільнень, утримується від перетоків через зазори між стаканами 6 і 7 і обоймами 8, а також між втулками 1 і 2 і опорними кільцями 4 ущільнювачів, гумовими кільцями 20, 21, 22, 23 відповідно. Сила, що розсовує кільця 4 і 5, менше газостатичної сили, що притискає їх один до одного. При цьому кільця 4 і 5 контактують один з одним торцевими поверхнями ущільнювачів, чим забезпечується герметизація ущільнення. При необертальному роторі і тиску всмоктування витік газу через ущільнення не повинен перевищува-

ти 30 нл/хв.

При обертанні ротора газ подається спіральними канавками до центру торцевих поверхонь ущільнювальних кілець 4 і 5, де, зустрічаючи опір ущільнювачого паска, стискається. При цьому виникає газодінамічна сила, що розсовує кільця і, при певній частоті обертання ротора, відбувається віджимання упорного кільця 5 і ущільнення починає працювати без контакту. Встановлюється ущільнювальний зазор кілька мікронів, через який дроселюється робочий газ, що становить первинний витік. Витік газу після 1-го ступеня ущільнення виводиться на свічку.

Друга (зовнішня) ущільнююча пара працює при перепаді тиску 0,05–0,3 МПа. Вона запирає первинний витік, а також є страхувальною на випадок розгерметизації першої пари. У цьому випадку друга пара, вступаючи в роботу, запобігає потраплянню робочого газу в порожнину підшипника і далі в відсік нагнітача при аварійній зупинці компресора.

Лабіринт 27 має камеру підведення замикаючого повітря і є ще одним додатковим ущільнювальним ступенем. Потік замикаючого повітря відсікає пари масла від підшипників і замикає незначні витоки газу, які пройшли через 2-ий ступінь ущільнення, які і складають вторинний витік. Ці витоки через отвір в кришці 26 суфліруються в атмосферу. Таким чином, забезпечується захист від попадання природного газу в камеру підшипників і потрапляння парів масла до третьої пари ТГДУ.

Деталь «Корпус» є деталлю в ущільненні системи масло-газ. Корпус призначений для запобігання попаданню газу в зону змащування і, відповідно, змішування масла з газом.

На деталі є такі особливості:

Дві проточки 7Н12 (+0,12; 0) мм, які призначені для ущільнюючих кілець.

П'ять отворів Ø26 мм виготовлені для зливу масла з підшипника. Два отвори М12-7Н використовуються для кріплення кришки. Сім отворів Ø18 мм - призначені для підведення масла в підшипник. Три отвори Ø22 мм випускають газ.

Таким чином, забезпечується захист від попадання природного газу в камеру підшипників і потрапляння парів масла до тертьової пари ТГДУ.

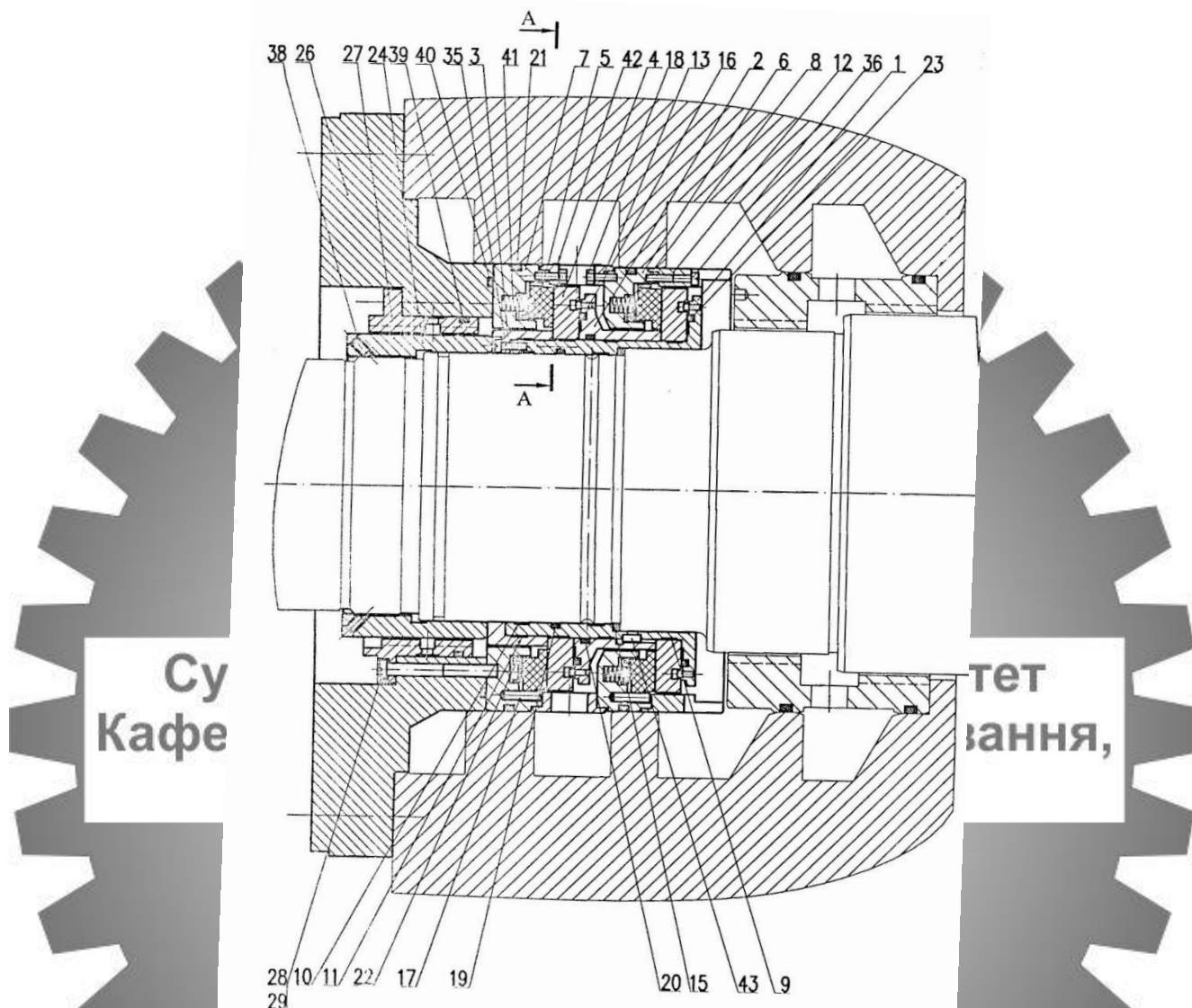


Рисунок 1.1 – Вузол торцевого гідродинамічного ущільнення

Аналіз службового призначення поверхонь деталі проводимо згідно складального креслення. На деталі «Корпус» можна виділити такі поверхні (див. рис. 1.2):

- основні конструкторські;
- допоміжні конструкторські;
- виконавчі;
- вільні поверхні – інші поверхні (служать для створення конфігурації, посилення конструкції деталі).

Розглядаючи деталь можна виділити основні конструкторські бази: торець (установча база), циліндрична поверхня (подвійна опорна база), отвір (опорна база).

Таблиця 1.2 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Ступінь вільності	База
1, 2, 3	I, V, VI	Установча
4, 5	II, III	Подвійна опорна
6	IV	Опорна

Таблиця 1.3 – Матриця зв'язків

x, y, z	X	Y	Z	База
l	0	0	1	Установча
α	1	1	0	
l	1	1	0	Подвійна опорна
α	0	0	0	
l	0	0	0	Опорна
α	0	0	1	
Σ	2	2	2	6 степенів

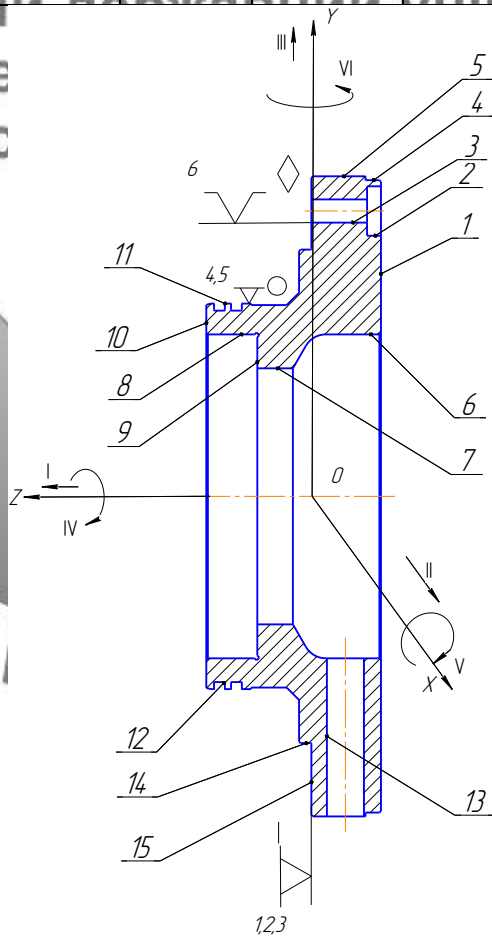


Рисунок 1.2 – Базування деталі

1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення

Технічні вимоги (умови) на виготовлення деталі визначаються її службовим призначенням. На основі аналізу робочого креслення можна зробити висновок, що наявних проєкцій і перетинів досить, вони правильно розміщені згідно існуючих стандартів, на всіх поверхнях вказані вихідні дані: розміри, їх точність і шорсткість, проставлені потрібні технічні вимоги на виготовлення деталі.

Очевидно, що креслення виконаний, згідно, ЕСКД і повністю відповідає чинним стандартам: ГОСТ 2.109. Основні вимоги до креслень - ГОСТ 2.305. Зображені види, розміри, перерізи ГОСТ 2.307. Нані-сеніє розмірів і граничних відхилень ГОСТ 2.309. Шорсткість поверхні. Параметри, характеристики і позначення ГОСТ 24643. Допуски норми і розташування поверхонь. Числові значення.

Деталь «Корпус» є типовим представником кришок, виготовляється з конструкційної легированої сталі 30ХА ГОСТ 4543.

Відповідно до ГОСТ 4543 хімічний склад механічні та фізичні властивості представлені в табл. 1.4.

Аналізуючи технологічність конструкції по застосовуваних матеріалів необхідно відзначити, що сталь 30ХА ГОСТ 4543 має хорошу оброблюваність.

Таблиця 1.4 – Властивості сталі 30ХА ГОСТ 4543

Матеріал-замінник	
Сталі: 35ХМ, 35ХРА	
Вид постачання	
Сортовий прокат, у т. ч. фасонний: ГОСТ 4543-71, ГОСТ 259071, ГОСТ 2591-71, ГОСТ 2879-69. Калібрований пруток ГОСТ 7417-75, ГОСТ 8559-75, ГОСТ 8560-78, ГОСТ 1051-73. Шліфований пруток ГОСТ 14955-77.	
Призначення	
Шестерні, вали, цапфи, шпильки, гайки і різні інші деталі при температурі до 450-500°C.	
Хімічний склад	
Кремній (Si)	0,17 – 0,37 %
Мідь (Cu), не більше	0,30 %
Молибден (Mo)	0,15 – 0,25 %
Марганець (Mn)	0,40 – 0,70 %
Нікель (Ni), не більше	0,30 %
Фосфор (P), не більше	0,025 %
Хром (Cr)	0,80 – 1,10 %
Сірка (S), не більше	0,025 %

Таблиця 1.5 – Механічні властивості сталі 30ХА

Термо-обробка	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	σ , %	ψ , %	КСУ, Дж/м ²	НВ
Пруток. Загартовування 880 °С, відпуск 540 °С, вода або масло							
	15	735	930	12	55	78	
Поковки. Загартовування. Відпуск.							
КП 395	<100	395	615	17	45	49	187÷229
КП 440	100-300	440	635	16	45	59	197-235
КП 440	100-300	440	635	14	40	54	197-235
КП 490	<100	490	655	16	45	59	212-248

Позначення:

σ_B - границя короткотривалої міцності, МПа

σ_T - границя пропорційності (границя текучості для залишкової деформації), МПа

δ_5 - відносне подовження при розриві, %

ψ - відносне звуження, %

КСУ - ударна в'язкість, кДж / м²

НВ - твердість по Брінеллю, МПа

Основні вимоги, що пред'являються конструктором до деталі, полягають в наступному. На деталь встановлені такі допуски форми та розташування: позиційний допуск дванадцяти отворів $d = 22$ мм; позиційний допуск двох отворів $d = 15$ мм; допуск торцевого биття поверхні $d113h9$, відносно бази Ж – 0,04 мм; допуск радіального биття поверхні $d210,5$; відносно бази Ж – 0,04 мм; допуск радіального биття поверхні $d250f9$, відносно бази Ж – 0,02 мм; допуск радіального биття поверхні $d320h6$, щодо бази Ж – 0,04 мм; допуск паралельності і площинності – 0,03 мм торцевих поверхонь.

Дана деталь має ряд нетехнологічних елементів, що робить деталь нетехнологічною в процесі обробки.

Аналіз технічних вимог пропонованих конструктором до деталі «Корпус»:

- поковка ГрІ ГОСТ 8479;
- Конструктор обумовлює отримання заготовки куванням, група І;
- Н14, h14, $\pm IT14 / 2$. Поверхні, на яких немає вимоги до точної обробки, повинні оброблятися з якітетом точності отворів Н14, валів h14 (зовнішні циліндричні поверхні), лінійні розміри $\pm IT14/2$. Ці поверхні не є відповідальними і служать для конфігурації деталі (посилення, технологічні поверхні). Дана вимога дозволяє проставляти розміри без загромадження креслення.

Висновок: робота корпусу здійснюється в статичних умовах навантажень при перепадах температури без впливу робочого середовища. При роботі корпус зазнає навантаження, що розтягують. Дана деталь передбачена для роботи в вертикальному положенні.

1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва

Тип виробництва за ГОСТ 3.1108 характеризується коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о.}$, який показує відношення всіх різних технологічних операцій, що виконуються або підлягають виконанню підрозділом протягом місяця, до числа робочих місць.

Так як у завданні вказано тип виробництва дрібносерійний, то вибираємо форму організації робіт – групову.

Ця форма організації робіт характерна для дрібносерійного і середнесерійного типів виробництва. Заготовки обробляються невеликими партіями, час обробки не погодили.

Дрібносерійне виробництво, яке є підвидом (нижчою формою) серійного виробництва, яке в свою чергу є основним типом сучасного машинобудівного виробництва, а підприємства цього типу випускають в даний час 70% всієї продукції машинобудування країни. Це виробництво характеризується такими показниками, а саме, заготовки, що застосовуються в дрібносерійному виробництві в основному кування і лиття в піщано-глинисті форми (рідко точне лиття і штампування).

Устаткування використовується універсальне і спеціалізоване. В основному використовують універсальні верстати, також широко використовуються верстати з ЧПК. У дрібносерійному виробництві застосовується групова форма організації виробництва. Устаткування розставляються по технологічним групам з урахуванням положення України цеху. Ріжучий інструмент застосовують як стандартний, так і спеціальний, який використовується в разі неможливості обробки стандартним інструментом різних поверхонь великої номенклатури та різної конструкції деталей. Мірятьний інструмент також застосовують як стандартний, так і спеціально виготовлений на замовлення в інструментальному цеху підприємства. Переважно застосовують шкальний інструмент в деяких випадках шаблони і калібри.

Середня кваліфікація робітників вище, ніж в масовому виробництві, але нижче ніж в одиничному. Поряд з робітниками високої кваліфікації, які працюють на складних універсальних верстатах, а також налагоджують використовуються робітники-оператори, що працюють на настроєних верстатах.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі верстатів та інструментів

Відпрацювання конструкції на технологічність – це комплекс заходів щодо забезпечення необхідного рівня технологічності конструкції виробу за встановленим показником. Вона спрямована на підвищення продуктивності праці, зниження витрат і скорочення часу на виготовлення при забезпеченні необхідного нею якості.

Аналіз технологічності деталі проводиться для того, щоб дізнатися чи зручна деталь в обробці, а також знайти менш трудомісткі і менш дорогі економічні методи отримання деталей. При цьому аналізуються:- матеріал;

- спосіб отримання заготовки;
- конструкція;
- можливість застосування високопродуктивних методів обробки;
- конструктивні елементи в технологічному відношенні;
- креслення (простановка розмірів, допусків форми і розташування);

– базування.

Оцінка технологічності конструкції проводиться двох видів: якісна і кількісна.

Якісна оцінка технологічності конструкції.

Аналізуючи технологічність конструкції за матеріалом деталі необхідно відзначити, що сталь 30XA обробляється задовільно і застосовується спеціально для втулок, муфт так як її механічні та фізичні властивості забезпечують тривалу, безвідмовну роботу деталі у виробі під впливом навантажень. Спосіб отримання заготовки (поковки) – раціональний для даної конструкції деталі та типу виробництва. Заготовка в цьому випадку найбільш наближена за формою і розмірами до готової деталі, тобто забезпечує найбільш високий коефіцієнт використання матеріалу і найменшу трудомісткість механічної обробки, а так само зниження вартості отримання заготовки.

Хімічний склад, механічні властивості сталі 30XA наведені в таблиці 1.4.

Форма оброблюваних поверхонь – технологічна, так як вони прості (плоскі, циліндричні, гвинтові), що полегшує обробку деталі тому точність і стабільність обробки значною мірою визначається простотою конструктивних форм. Маса деталі 45,5 кг, що говорить про те, що необхідно застосовувати спеціальні механізми для встановлення деталі на верстат, її транспортуванні.

Деталь досить жорстка, що дозволяє обробляти її на верстатах з найбільш продуктивними режимами різання.

На підставі вивчення креслення, а також умови роботи виробу, в розглянутій деталі «Корпус» присутні наступні нетехнологічні елементи:

- глухий отвір під рим-болт, так як більш технологічним є наскрізний отвір, який можна свердлити на прохід без дотримання глибини свердлування;
- глухий різьбовий отвір під рим-болт на периферії, так як неможлива робота нарізного інструменту на прохід, що знижує продуктивність і умови роботи інструменту;
- отвір $\varnothing 22$ довжиною $l = 103$ мм, для його виконання необхідний

спеціальний різальний інструмент, тому потрібно забезпечити подачу ЗОР для вимивання стружки із зони різання.

Вищевикладені зауваження викликані конструктивними міркуваннями і змінити що-небудь неможливо.

При механічній обробці поверхні для базування і закріплення є досить відкритими і розвиненими, що не викликає труднощі при закріпленні та обробці.

Не технологічно також досягнення допусків форми і розташування, точності, шорсткості. Дані вимоги досягаються на токарних операціях (чорнових, чистових) з дотриманням режимів різання, правильної геометрії ріжучої кромки, а так само використання правильного і точного базування на операціях.

На кресленні значення граничних відхилень розмірів, які проставлені конструктором, відповідають стандартним, що є технологічним.

Кількісний аналіз для зручності представлений у вигляді таблиці 1.6. Коефіцієнт точності обробки:

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів

$$K_{TЧ} = 1 - (1/A_{CP}),$$

де A_{CP} – середній квалітет точності.

$$A_{CP} = (n_1 + n_2 + \dots + n_{63}) / \sum_i m_i,$$

де n – квалітет точності кожної поверхні;

m – кількість поверхонь.

$$A_{CP} = 833 / 63 = 13,2$$

$$K_{TЧ} = 1 - 1/13,2 = 0,92$$

так як $K_{TЧ} > 0,8$, деталь за цим показником є технологічною.

Коефіцієнт шорсткості R_a :

$$K_{\text{Ш}}=1-1/B_{\text{СР}}$$

де $B_{\text{СР}}$ – середня шорсткість поверхні.

$$B_{\text{СР}}=(c_1+c_2+\dots+c_{63})/\sum_i^{63} m_i$$

де c – значення шорсткості кожної поверхні.

$$B_{\text{СР}}=678,5/63=10,7,$$

$$K_{\text{Ш}}=1-1/10,7=0,9.$$

Так як $K_{\text{Ш}} > 0,32$; деталь за цим показником є технологічною.

Таблиця – 1.6 Якісна оцінка технологічності

Найменування поверхонь	Кількість поверхонь, шт.	Квалітет точності	Параметр шорсткості Ra, мкм
1	2	3	4
Поверхня ø415	1	14	12,5
Поверхня ø410	1	5	1,6
Поверхня ø320	1	6	1,6
Поверхня ø250	1	9	1,6
Поверхня ø106	1	7	1,6
Поверхня ø166	1	14	12,5
Поверхня ø250	1	14	12,5
Отвори			
Поверхня ø22	12	14	12,5
Поверхня ø18	7	14	12,5
Поверхня ø17	3	14	12,5
Поверхня ø10	1	14	12,5
Поверхня ø32	2	14	12,5
Поверхня ø22	3	14	12,5

Поверхня ø26	4	14	12,5
Конус 30°	1	14	12,5
Конус 45°	1	14	12,5
Дно паза	2	14	12,5
Бічні поверхні паза	2	14	1,6
	2	14	12,5
Торці	5	14	12,5
Торці	4	9	1,6
Фаски	7	14	12,5
Σ	63	833	678,5

В цілому деталь досить технологічна і проста по конструкції. Поверхні обертання можуть бути оброблені на багатшпиндельних верстатах.

1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу

Аналіз будемо проводити на підставі базового технологічного процесу. У цьому технологічному процесі послідовність механічної обробки відповідає загальноприйнятим етапам побудови технологічного процесу.

На першій технологічній операції проводиться обробка поверхонь, які на подальших операціях будуть прийняті за базові (чистові).

Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі «Корпус»

Номер операції	Найменування операції	Обладнання
005	Заготівельна	Пароповітряний кувальний молот М 132
010	Термічна обробка	Термічна піч
015	Технічний контроль	Стіл ОТК
020	Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК верстат моделі 16К30Ф3
025	Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК верстат моделі 16К30Ф3

030	Технічний контроль	Стіл ОТК
035	Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК верстат моделі 16К30Ф3
040	Технічний контроль	Стіл ОТК
045	Комплексна на обробному центрі з ЧПК	Свердлильно-фрезерно-розточний верстат з ЧПК моделі IP800ПМФ4
050	Технічний контроль	Стіл ОТК
055	Комплексна на обробному центрі з ЧПК	Свердлильно-фрезерно-розточний верстат з ЧПК моделі IP800ПМФ4
060	Технічний контроль	Стіл ОТК
065	Плоскошліфувальна	Плоскошлифовальный станок модели ЗД741А
070	Слюсарна	Слесарный верстак
075	Технічний контроль	Стіл ОТК

Технологічний процес виготовлення деталі «Корпус» в заводському варіанті виконаний як маршрутний, що відповідає одиничному типу виробництва. Він містить 15 операцій, з яких 6 операцій механічної обробки, решта – контрольні, слюсарні та заготівельна.

Аналізуючи заводський технологічний процес можна сказати, що операції обробки обрані вірно. Але є дрібні недоліки, які можливо викликані додатковими вимогами конструктора.

За нинішніх умов і конкуренції на ринку потрібно максимально використовувати більш сучасні верстати, які дозволяли б обробляти деталь при високих швидкостях різання, були б жорсткими по конструкції і давали б необхідну точність. Цим вимогам відповідають верстати нових моделей з ЧПК, як наприклад 16Р40Ф3. У маршрутному технологічному процесі не вказані способи базування і закріплення заготовки, на яких виконуються операційні розміри, докладно не розписаний ріжучий інструмент і вимірювальний інструмент. В даний час обраний застарілий інструмент (з напайними пластинами), що не дозволяє обробляти деталь на більш прогресивних режимах різання з використанням обладнання з ЧПК. Інструмент треба замінити на: різці з неперетачуваними багатограними пластинами з твердого сплаву, а також використовувати для обробки твёрдосплавні све-

рдла і фрези замість інструменту зі швидкоріжучої сталі, які дозволяють проводити обробку в 3-4 рази швидше в порівнянні з інструментом з швидкоріжучої сталі.

Вимірювальний інструмент використовуються застарілих конструкцій або безшкальні. Здійснювати вимювання скобами і калібрами досить швидко і точно, але дорого для даного типу виробництва. Потрібно проектувати нові вимірювальні пристрої, що були б більш дешевші, ніж скоби, але більш точні при вимірюванні і відрізнялися б своєю універсальністю.

Режими різання обрані і розраховані правильно. Але через те, що обладнання та матеріали ріжучих інструментів на виробництві використовуються застарілі, то це ці режими недоцільно застосовувати для сучасних верстатів, так як ці верстати дозволяють працювати на більш прогресивних і форсованих режимах. При зміні цих недоліків можна буде підвищити режими різання до оптимальних. Отже, скоротити час обробки і підвищити точність виготовлення деталей.

Сучасні верстати з програмним управлінням поєднують точність спеціалізованих верстатів і мають більш високу продуктивність, ніж верстати загального призначення, що вироблялися раніше (в 2...5 разів). Область застосування верстатів з програмним керуванням досить широка як за характером технологічних операцій, так і за типами виробництв, для яких вони призначаються. За останньою ознакою створені й успішно використовуються верстати з програмним управлінням як для одиничного і дрібносерійного, так і для великосерійного і масового виробництва.

До основних умов доцільності застосування верстатів з програмним керуванням можна віднести наступне:

– обробку отворів складної геометричної форми, що вимагають застосування декількох послідовно працюючих інструментів, а також обробку груп отворів на свердлильних і розточувальних верстатах. Ці види обробки можуть бути виконані на верстатах з програмним керуванням без виготовлення спеціального оснащення (кондукторів, копирів і ін.), які зазвичай застосовуються на універсальних верстатах;

- необхідність побудови процесу за принципом концентрації операцій, тобто зосередження найбільшої кількості однотипних видів обробки на одному місці;
- необхідність зменшення частки допоміжного часу, який витрачається в розглянутій операції на прийоми, пов'язані зі зміною режимів різання, переходом з обробки однієї поверхні на іншу, зміною ріжучого інструменту та іншого, що зазвичай має місце при послідовній обробці декількох поверхонь на універсальних верстатах;
- обробку кількох аналогічних деталей на одному верстаті, що має місце в умовах серійного виробництва. В цьому випадку застосуванням верстатів з ЧПК можна скоротити час на переналагодження обладнання;
- можливість скорочення числа операторів впровадженням багатOVERSTATного обслуговування.

Порівнявши маршрутний технологічний процес з типовим технологічним процесом на однотипні деталі ми не знаходимо істотних відмінностей. Тому зміну порядку технологічних операцій можна вважати недоцільним. Але, розглядаючи рівень прогресивності методів обробки, ми бачимо, що вони не досить продуктивні.

Аналізуючи технологічний процес можна рекомендувати використовувати на токарній операції сучасні верстати з ЧПК наприклад 16P40Ф3, більш придатних за технічними характеристиками при обробці заданої деталі, ніж верстати 16K30Ф3, що дозволить значно скоротити час на обробку та збільшити точність обробки.

Аналіз вимірювального інструмента, яким проводиться контроль точності обробки, показав, що деякі параметри, такі як радіальне биття отворів, в базовому технологічному процесі не контролюються. Виходячи з цього необхідно розробити контрольно-вимірювальне пристосування для контролю радіального биття отворів.

Проводячи аналіз рівня механізації і автоматизації технологічного процесу

можна зробити висновок, що в ньому практично не використовується пристрої.

Виходячи з цього, рекомендується розробити кілька пристроїв. Зокрема можна розробити пристрій для кріплення деталі на обробному центрі з ЧПК операцію з пневматичним затискачем, також можна розробити пневматичний пристрій для затиску деталі на токарній операції.

Зупинимося докладніше на кожній з операцій техпроцесу, зазначених в табл. 1.7, а саме опишемо схеми базування і закріплення заготовки на різних операціях, проаналізуємо методи досягнення точності на кожній механічній операції, опишемо обладнання, що застосовується для обробки деталі «Корпус», а також ріжучий, вимірювальний, допоміжний інструмент і технологічне оснащення, що застосовується на операціях техпроцесу.

005 Заготівельна.

Дана операція передбачає отримання заготовки в заготівельному цеху методом пластичного деформування, а саме куванням на молотах. Маса заводської заготовки становить 68 кг.

При куванні використовується кувальне обладнання, а саме пароповітряний молот, кліщі. Контроль отриманої заготовки проводиться металевою лінійкою.

010 Термічна обробка.

Дана операція проводиться в цеху на термічній ділянці. Сутність операції полягає в отриманні необхідної твердості деталі 220...240НВ. На цій операції проводиться нагрів деталі в газовій або електропечі до температури 1070 °С, витримка деталі в печі 60 хвилин і її охолодження. При цьому згідно з актом термообробки виходить твердість, яка задовольняє технічним вимогам креслення, а саме 232 одиниці по Бріннелю.

На даній операції використовується обладнання - кліщі.

015 Технічний контроль.

Дана операція проводиться контролером ОТК на столі ОТК. На операції проводиться вхідний контроль розмірів заготовки. Вимірювальний інструмент - штангенциркуль ШЦ-I-500-0,1 ГОСТ 166, лінійка 1000 ГОСТ 17435.

020 Токарна з ЧПК.

На даній операції здійснюється чорнова обробка деталі з одного боку по всіх поверхнях, згідно операційного ескізу, наведеного в маршрутних картах заводського технологічного процесу. Проводиться зняття кірки з заготовки і підготовка чистових баз під подальшу обробку. Обробка відбувається за один установ. Дану операцію згідно маршруту обробки виконує токар 3-го розряду.

Деталь встановлюється в трикулачковому патроні з розточеними кулачками, так що при цьому виникають дві бази - установка на торці деталі, яка позбавляє її трьох ступенів свободи і подвійна опорна база на циліндричній поверхні, яка позбавляє деталь двох ступенів свободи. В цілому деталь в даному пристрої позбавлена п'яти ступенів свободи, тобто залишається одна ступінь свободи - це обертання навколо осі шпинделя верстата.

Ріжучий інструмент на даній операції використовується найпростіший, а саме – різці з напайними пластинами з T5K10. Використовується прохідний упорний (підрізний) різець і такої же конфігурації розточний різець.

Вимірювальним інструментом є штангенциркуль ШЦ-I-500-0,1 ГОСТ 166.

025 Токарна з ЧПК.

На даній операції здійснюється чорнова обробка деталі з другої сторони по всіх поверхнях, згідно операційного ескізу, наведеного в маршрутних картах заводського технологічного процесу. Обробка відбувається за один установ. Проводиться зняття кірки з заготовки і підготовка чистових баз під подальшу обробку. Дану операцію згідно маршруту обробки виконує токар 3-го розряду.

Деталь встановлюється в трикулачковому патроні з розточеними кулачками, так що при цьому виникають дві бази - установка на торці деталі, яка позбавляє її трьох ступенів свободи і подвійна опорна база на циліндричній поверхні, яка позбавляє деталь двох ступенів свободи. В цілому деталь в даному пристрої позбавлена п'яти ступенів свободи, тобто залишається одна ступінь свободи – це обертання навколо осі шпинделя верстата.

Ріжучий інструмент на даній операції використовується найпростіший, а

саме - різці з напайними пластинами з T5K10. Використовується прохідний упорний (підрізний) різець і такої ж конфігурації розточний різець.

Вимірювальним інструментом є штангенциркуль ШЦ-I-500-0,1 ГОСТ 166.

030 Технічний контроль.

Дана операція проводиться контролером ОТК на столі ОТК. На операції проводиться вхідний контроль розмірів деталі. Вимірювальний інструмент штангенциркуль ШЦ-I-500-0,1 ГОСТ 166, лінійка 1000 ГОСТ 17435.

035 Токарна з ЧПК.

На даній операції здійснюється чистова обробка деталі з двох сторін по всіх поверхнях, згідно операційного ескізу, наведеного в маршрутних картах заводського технологічного процесу. Обробка відбувається за два установа. Проводиться обробка посадкових розмірів згідно креслення, при цьому витримуються допуски розташування поверхонь. Дану операцію згідно маршруту обробки виконує токар 5-го розряду.

Деталь встановлюється в трикулачковому патроні з розточеними кулачками, аналогічно попереднім токарним операціям. Точність розмірів досягається завдяки кількості стадій обробки, а шорсткість поверхні – правильно підібраними режимами різання.

На операції використовуються прохідні упорні різці з напайними пластинами з T15K6. Також використовуються розточувальні різці такої ж конфігурації і матеріалу, що і при зовнішній обробці. Також на даній операції використовуються спеціальні канавочні різці, для обробки внутрішніх і зовнішніх циліндричних канавок.

Вимірювальний інструмент на операції використовується в основному шкальний універсальний, а саме штангенциркуль ШЦ-I-500-0,1 ГОСТ 166, шаблон для вимірювання канавки, калібр-скоба на зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 410h5$ (0;-0,027) мм, мікрометри, мікрометричний нутромер для вимірювання розмірів отворів і канавок, зразки шорсткості.

040 Технічний контроль.

Дана операція проводиться контролером ОТК на столі ОТК. Проводиться контроль попередньої операції.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-I-500-0,1 ГОСТ 166, шаблон на вимірювання канавки, калібр-скоба для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 410h5$ (0;-0,027) мм, мікрометри, мікрометричний нутромір і зразки шорсткості.

045 Комплексна на обробному центрі з ЧПК.

На даній операції виробляється свердління отворів на торці деталі. Заготовка встановлюється на столі верстата за допомогою найпростіших пристроїв типу упорів і прихватів. При цьому виникають дві бази - установча на торці деталі, яка позбавляє її трьох ступенів свободи і подвійна опорна база на циліндричній поверхні, яка позбавляє деталь двох ступенів свободи. В цілому деталь в даному пристрої позбавлена п'яти ступенів свободи.

Використовується такий ріжучий інструмент, як свердла, фреза кінцева, мітчик, зенковки. Всі інструменти з швидкорізальної сталі.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-I-500-0,1 ГОСТ 166, комплексний різбовий калібр М12-7Н.

050 Технічний контроль.

Дана операція проводиться контролером ОТК на столі ОТК. Проводиться контроль попередньої операції.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-I-500-0,1 ГОСТ 166, комплексний різбовий калібр М12-7Н.

055 Комплексна на обробному центрі з ЧПК.

На даній операції виконується фрезерування лиски і свердління радіально-розташованих отворів згідно креслення. Заготовка встановлюється на столі верстата за допомогою найпростіших пристроїв типу упорів і прихватів аналогічно попередній механічній операції. При цьому виникають три бази - установча на торці деталі, яка позбавляє її трьох ступенів свободи, подвійна опорна база на циліндричній поверхні, і опорна в одному з отворів, що необхідна для орієнтування деталі в кутовому напрямку, в цілому деталь в пристрої позбавлена шести ступе-

нів свободи.

Використовується такий ріжучий інструмент, як свердла, фреза кінцева. Всі інструменти з швидкорізальної сталі.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-I-500-0,1 ГОСТ 166.

060 Технічний контроль.

Дана операція проводиться контролером ОТК на столі ОТК. Проводиться контроль попередньої операції.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-I-500-0,1 ГОСТ 166.

065 Плоскошліфувальна.

На даній операції виконується шліфування торця деталі, при цьому витримується розмір 113 (0;-0,087) мм і допуски розташування відносно бази Ж (згідно креслення).

Застосовуються спеціально виготовлені фланці для установки деталі. При цьому виникають дві бази - установка на торці деталі, яка позбавляє її трьох ступенів свободи і подвійна опорна база на циліндричній поверхні, яка позбавляє деталь двох ступенів свободи. В цілому деталь в даному пристрої позбавлена п'яти ступенів свободи.

Ріжучим інструментом є шліфувальний круг.

Вимірювальний інструмент: мікрометр, зразки шорсткості.

070 Слюсарна.

Дана операція виконується на слюсарному верстаті. Проводиться видалення заусенців і очищення отворів після абразивної обробки.

Використовується плоский і круглий напильники.

075 Технічний контроль.

Дана операція проводиться контролером ОТК на столі ОТК. Проводиться контроль попередньої механічної операції.

Вимірювальний інструмент: мікрометр, зразки шорсткості.

1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

Якість виготовлення деталі у великій мірі залежить від правильності встановлення та закріплення заготовки на верстаті. Установка складається з базування, тобто орієнтації заготовки щодо виконавчих органів верстата, інструменту або траєкторії його переміщення, і закріплення, тобто докладання зусиль до заготовки для фіксації положення заготовки, досягнутого при базуванні.

Поверхня, використовувана для базування, повинна відповідати таким вимогам:

- великі розміри, геометрично правильна форма;
- низька шорсткість поверхні (без задирів, напливів, буртів, залишків ливникової системи і т.д.);
- безпосередній розмірний зв'язок з оброблюваною поверхнею, близьке розташування до оброблюваної поверхні;
- відсутність значущих деформацій і низької жорсткості базових поверхонь;
- використання принципу сталості баз;
- можливість простого і зручного закріплення заготовки.

У технології існує безліч технологічних способів обробки, які забезпечують приблизно однакові параметри одержуваних поверхонь, але відрізняються за собівартістю реалізації і тому раціональні у різних типах виробництва.

Виходячи з цього, одну і ту ж елементарну поверхню можна реалізувати деякою безліччю послідовно використаних технологічних способів, за якими і складаються різні маршрути обробки даної поверхні.

Так як кожен маршрут обробки поверхні складається з різних способів досягнення певної точності, отже, можна об'єднати в окремі етапи технологічного процесу. Крім цього механічна обробка може переривається термічними або іншими операціями. Все це підтверджує багатоваріантність технологічного проектування для однієї поверхні і тим більше для всього виробу.

Використовуючи довідкову літературу [4] і вищевикладені вимоги, вибираємо методи обробки поверхонь і пропонуємо варіанти забезпечення вимог:

а) механічні властивості матеріалу:

$HV = 205 \dots 220$, $\sigma_b \geq 588$ МПа, $\sigma_T \geq 196$ МПа, $\delta \leq 40\%$ забезпечуються застосуванням обраного матеріалу і проведенням його термічної обробки: нормалізація.

б) за шорсткістю – табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Способи досягнення точності і шорсткості деталі

Оброблювані поверхні	Квалітет	Ступінь шорсткості Ra, мкм	Метод забезпечення
1	2	3	4
Зовнішні циліндричні поверхні	12-14	6,3	точіння чорнове і напівчистове
			точіння чорнове
	9-11	3,2	точіння чорнове, напівчистове і чистове
			точіння чорнове і напівчистове
			точіння чорнове, напівчистове, чистове і тонке
6-8	1,6	точіння чорнове, напівчистове, чистове і шліфування	
Внутрішні циліндричні поверхні (отвори)	12-14	6,3	розточування чорнове і напівчистове
			розточування чорнове
	9-11	3,2	розточування чорнове, напівчистове і чистове
			розточування чорнове і напівчистове
	6-8	1,6	розточування чорнове, напівчистове і чистове
розточування чорнове, напівчистове, чистове і шліфування			
Отвори з плоским торцем	12-14	6,3	чорнове фрезерування
			чорнове і напівчистове фрезерування
Отвори на циліндричній поверхні	12-14	6,3	свердління
Різьбові отвори	7	3,2	забезпечуються інструментом

в) по точності форми і розташування елементів деталі-табл. 1.9;

Таблиця 1.9 – Способи досягнення форми і взаємного розташування поверхонь деталі

Відхилення форми і взаємного розташування	Величина допуску, мм	Метод досягнення
Радіальне биття зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталі	0,02	обробка з одного установа
	0,02	принцип постійності баз
Торцеве биття поверхонь деталі	0,02	обробка з одного установа
	0,02	принцип постійності баз

**Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів**

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

Вихідними даними для виконання цього етапу є знання про типові маршрути обробки поверхонь або груп поверхонь.

У багатьох випадках укрупнені операції включають переходи, що не можна виконати за один установ. Отже, необхідно прийняти рішення про принцип подальшого проектування - диференціації або концентрації побудови операцій.

При проектуванні маршрутного технологічного процесу необхідно врахувати:

- технологічні процеси рекомендується проектувати згідно з принципом поетапності, тобто необхідно забезпечити виконання чорнових, а потім чистових способів обробки;
- в першу чергу обробляють бази для наступних операцій;
- потім обробляють поверхні з найбільшим припуском і напуском, так як використовуються форсовані режими різання, а отже і будуть великі сили різання;
- обробка поверхонь, в яких можуть бути виявлені дефекти заготовки;
- найбільш точні поверхні обробляються в останню чергу.

Для зручності наведемо кілька технологічних маршрутів обробки і виберемо оптимальний з них.

Маршрут №1:

005 Заготівельна. Штамповка заготовки

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова

020 Свердлильна

025 Токарна чистова

030 Шліфувальна

035 Свердлильна

040 Слюсарна

Маршрут №2:

005 Заготівельна. Штамповка заготовки

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова

020 Токарна чистова

025 Свердлильна

030 Шліфувальна

035 Слюсарна

Маршрут №3:

005 Заготівельна. Ковка заготовки

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова

020 Свердлильна

025 Свердлильна

030 Шліфувальна

035 Токарна чистова

040 Слюсарна

Маршрут №2 є більш правильним, адже при попередніх свердлильних операціях в маршрутах №1 та №3 на подальшій токарній чистовій та шліфувальній буде відбуватись обробка з ударами, що призведе до поломки інструменту та небажаним дефектам поверхонь.

2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки

Основною умовою раціональної технології виготовлення заготовки є максимальне наближення форми і розмірів заготовки до форми готової деталі, тому проектування заготовки є одним з найважливіших етапів побудови технологічного процесу. Заводський метод отримання заготовки використовувати не доцільно,

оскільки дуже багато металу йде в стружку ($K_3=0,3$), адже заводська заготовка не передбачує наявності центрального отвору.

Технологічні умови виготовлення заготовки

З метою економії металу і зменшення трудомісткості обробки, конфігурація заготовки повинна бути максимально наближена до конфігурації деталі. Трудомісткість виготовлення і собівартість заготовки повинні бути мінімальними. Заготовка повинна мати форму, що дозволяє вести обробку з мінімальною кількістю установів і ріжучого інструменту. Матеріал заготовки не повинен мати тріщин, внутрішніх дефектів, розшарувань.

Дану деталь можна отримувати наступними способами:

- вільна кування на молотах;
- кування на пресі.

Виходячи з конфігурації заданої деталі, технічних вимог креслення (конструктора) доцільно застосувати поковки ковану на молотах.

Так як «Корпус» деталь відповідальна отже в прийнятому технологічному процесі заготовку будемо отримувати куванням на молотах, в результаті чого буде ущільнення матеріалу з наступною термічною обробкою.

Вихідні дані для розрахунку припусків:

Нагрівання заготовки - індукційне.

Матеріал - сталь 30ХА ГОСТ 4543.

Маса деталі - 45,5 кг.

Призначаємо припуски і граничні відхилення відповідно до ГОСТ 7505, табл. 2.1.

Основні припуски і допуски на заготовку вибираємо згідно ГОСТ 7505.

Розрахунковий коефіцієнт $K = 1,4$ додаток 3 [3];

Клас точності - Т3 додаток 1 [3].

Група стали - М1 таблиця 1 [3].

Середня масова частка вуглецю в сталі 30 - 0,3% С.

Ступінь складності - С2 додаток 2 [3].

Відношення мас тіл становить - $G_n/G_\phi = 24,2/54,7 = 0,42$

Конфігурація роз'єму штампа П (плоска) - таб. 1 [3].

Вихідний індекс - 13 таб. 2 [3].

Припуски і ковальські напуски.

Основні припуски на розміри, мм.

1,9 - діаметр 415 мм і шорсткість поверхні 12,5

2,0 - діаметр 250 мм і шорсткість поверхні 1,6

1,7 - діаметр 166 мм і шорсткість поверхні 12,5

2,0 - діаметр 210,5 мм і шорсткість поверхні 1,6

1,7 - діаметр 210 мм і шорсткість поверхні 12,5

1,5 - товщина 53 мм і шорсткість поверхні 12,5

2,0 - довжина 113 мм і шорсткість поверхні 1,6

1,9 - товщина 23 мм і шорсткість поверхні 0,4

Додаткові припуски, що враховують:

— зміщення по поверхні рознімання штампа - 0,6 мм;

— вигнутість і відхилення від площинності і прямолінійності - 0,8 мм.

Розміри поковки, мм

Діаметр $415 + (1,9 + 0,8) \cdot 2 = 420,4$ - приймаємо 420;

Діаметр $250 + (2,0 + 0,8) \cdot 2 = 255,6$ - приймаємо 256;

Діаметр $166 - (1,7 + 0,8) \cdot 2 = 161$ - приймаємо 161;

Діаметр $210,5 - (2,0 + 0,8) \cdot 2 = 204,9$ - приймаємо 205;

Діаметр $210 - (1,7 + 0,8) \cdot 2 = 205$ - приймаємо 205;

Товщина $53 + (1,5 + 0,6) + (2,0 + 0,6 + 0,8) = 58,5$ - приймаємо 59;

Довжина $113 + (2,0 + 0,6) \cdot 2 = 118,2$ - приймаємо 118;

Товщина $23 + (1,9 + 0,2) + (2,0 + 0,6 + 0,8) = 28,5$ - приймаємо 29.

Допустимі відхилення розмірів.

Діаметр $420_{-1,2}^{+2,4}$ мм;

Діаметр $256_{-1,0}^{+1,8}$ мм;

Діаметр $161_{-1,0}^{+1,8}$ мм;

Діаметр $205^{+1.8}_{-1.0}$ мм;

Діаметр $205^{+1.8}_{-1.0}$ мм;

Товщина $59^{+1.4}_{-0.8}$ мм;

Довжина $118^{+1.6}_{-0.9}$ мм;

Товщина $29^{+0.3}_{-0.7}$ мм.

Допустиме відхилення від площини 0,6 мм – по п. 5.16 [3].

Допустима величина залишкового обля 0,8 мм – по п. 5.23 [3].

Допустима величина на зміщення по поверхні рознімання штампа 0,7 мм – по п. 5.7 [3].

Маса заготовки $m = 60,5$ кг.

Коефіцієнт використання заготовки:

$$K_3 = \frac{m_D}{m_3} \geq 0,7,$$

де m_D – маса деталі, кг;

m_3 – маса заготовки, кг;

0,7 – рівень технологічності ЕСТП.

$$K_3 = \frac{45,5}{60,5} = 0,75.$$

$K_3 > 0,7$ – це обумовлено не прошитим отвором в заготовці.

Таблиця 2.1 – Розміри поковки

№ пов.	Номінальний розмір деталі	Загальний допуск	Величина припуску	Кінцевий розмір
1	Ø415	5	$+2.4$ -1.2	$420^{+2.4}$ -1.2
2	Ø210	5	$+1.8$ -1.0	$205^{+1.8}$ -1.0
3	Ø166	6	$+1.8$ -1.0	$161^{+1.8}$ -1.0
4	L113	5	$+1.6$ -0.9	$118^{+1.6}$ -0.9

Собівартість заготовки отриманої куванням на молоті визначаємо за формулою:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_t \cdot K_m \cdot K_c \cdot K_s \cdot \mathcal{J}_{\%} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{отх}}}{1000} \quad (2.1)$$

де $C_i = 18000$ грн – базова вартість однієї тонни матеріалу, грн.,

$Q = 60,5$ кг – маса заготовки;

$q = 45,5$ кг – маса готової деталі;

$K_t = 1,1$ – коефіцієнт, що враховує точність поковки;

$K_m = 1,22$ – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу;

$K_{\text{II}} = 1,3$ – коефіцієнт, що враховує групу серійності;

$K_n = 1,1$ – коефіцієнт що враховує групу складності;

$K_b = 0,98$ – коефіцієнт, що враховує масу штамповки;

$S_{\text{отх}} = 2$ грн – ціна однієї тони відходів.

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{18000}{1000} \cdot 60,5 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 0,98 \right) - (60,5 - 45,5) \cdot \frac{2000}{1000} = 2048 - 30 = 2018 \text{ грн.}$$

Технічні вимоги:

1. Поковка ГрІ ГОСТ 7505-89-70;
2. Незазначені радіуси $R=5$ мм;
3. Незазначені зовнішні ухили 7° ;
4. Заусенців по периметру не більше 3 мм;
5. Маркірувати номер креслення 5Пр3 ГОСТ 26.008-85.

Собівартість заготовки одержуваної куванням на пресі визначаємо за тією ж формулою, але з такими показниками складових:

$C_i = 16500$ грн – базова вартість однієї тонни матеріалу, грн.,

$Q = 65,4$ кг – маса заготовки;

$q = 45,5$ кг – маса готової деталі;

$K_t = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує точність штамповки;

$K_M = 1,22$ – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу;

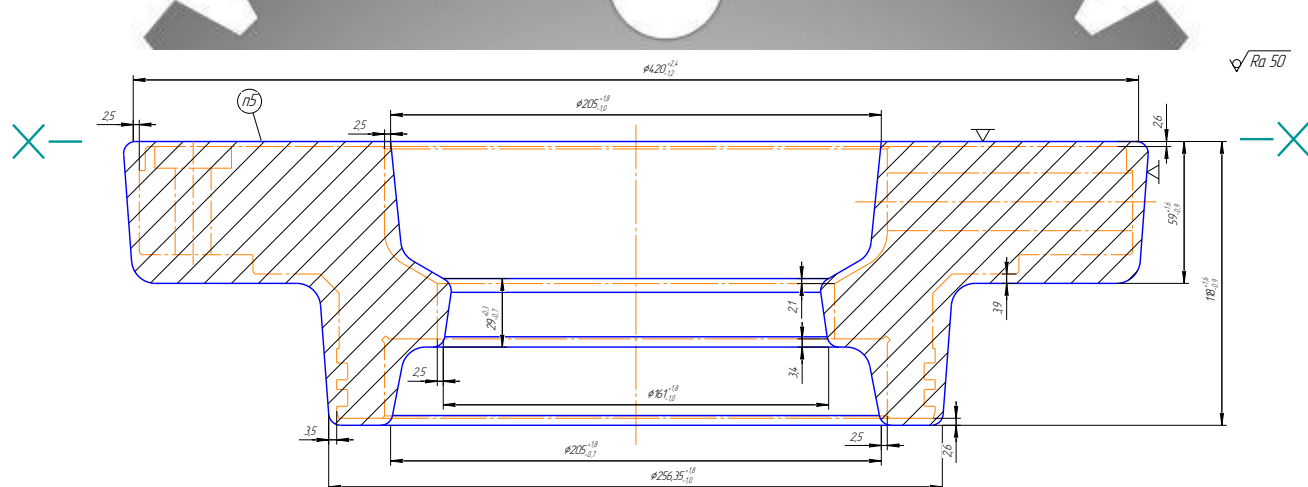
$K_{II} = 1,4$ – коефіцієнт, що враховує групу серійності;

$K_H = 0,85$ – коефіцієнт що враховує групу складності;

$K_B = 0,9$ – коефіцієнт, що враховує масу штамповки;

$S_{отх} = 2$ грн – ціна однієї тони відходів.

$$S_{зар} = \left(\frac{16500}{1000} \cdot 65,4 \cdot 1,2 \cdot 1,22 \cdot 1,4 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \right) - (65,4 - 45,5) \frac{2000}{1000} = 2120 - 40 = 2080 \text{ грн.}$$



верстатів та інструментів

Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки

На підставі отриманих результатів, можна зробити висновок:

- заготовка – поковка, кована на молотах, більш вигідна;
- форма деталі має максимальне наближення до форми деталі.

2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Виконаємо розрахунок припусків та знайдемо розміри на обробку циліндричної поверхні $\varnothing 250_{f9}$ мм по принципу професора Кована В.М.

Розрахунок проведений на ЕОМ та показаний в додатку Б.

Розрахункова формула для знаходження припуску зовнішньої циліндричної поверхні має вигляд:

$$2z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.2)$$

де R_{z-1} – величина мікронерівностей поверхні отриманої на попередній операції (переході);

T_{i-1} – глибина дефектного шару поверхні отриманої на попередній операції (переході);

ρ_{i-1} – величина просторового відхилення форми поверхні отриманої на попередній операції (переході);

ε_i – похибка на виконуваний операції (переході).

Перераховані показники є величинами табличними окрім ρ_{i-1} , яка розраховується як

$$\rho_{заг} = \sqrt{\rho_{екс}^2 + \rho_{см}^2} = \sqrt{2,0^2 + 0,7^2} = 2,119 \text{ мкм},$$

ρ_{i-1} знаходиться в відсотковому відношенні від

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів

$\rho_{заг}$ тоді $\rho_{чер} = \rho_{заг} k_y$

де $k_y = 0,04 \div 0,06$, в залежності від переходу. Знайдемо для кожного з переходів:

$$\rho_{чер} = 1520 \cdot 0,06 = 92 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{п/ч} = 1520 \cdot 0,05 = 76 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{чис} = 1520 \cdot 0,04 = 61 \text{ мкм.}$$

Вихідні данні для розрахунку припусків на ЕОМ приведені в таблиці 2.2, а самі результати розрахунку у додатку Б.

Таблиця 2.2 – Вихідні данні

Найменування переходу	Познач. точності	Гранич відхил.	Елементи припуску, мкм				
			Rz	T	ρ	ϵ_b	ϵ_z
Поковка	T3	$\begin{matrix} +1.8 \\ -1.0 \end{matrix}$	250	250	1520	-	-
Точ. чорнове	кв. 12	-0,4	100	100	92	50	150
Точ. п/ч	кв. 10	-0,16	50	50	76	20	40
Точ. чистове	кв. 9	$\begin{matrix} -0.05 \\ -0.165 \end{matrix}$	25	25	61	0	0

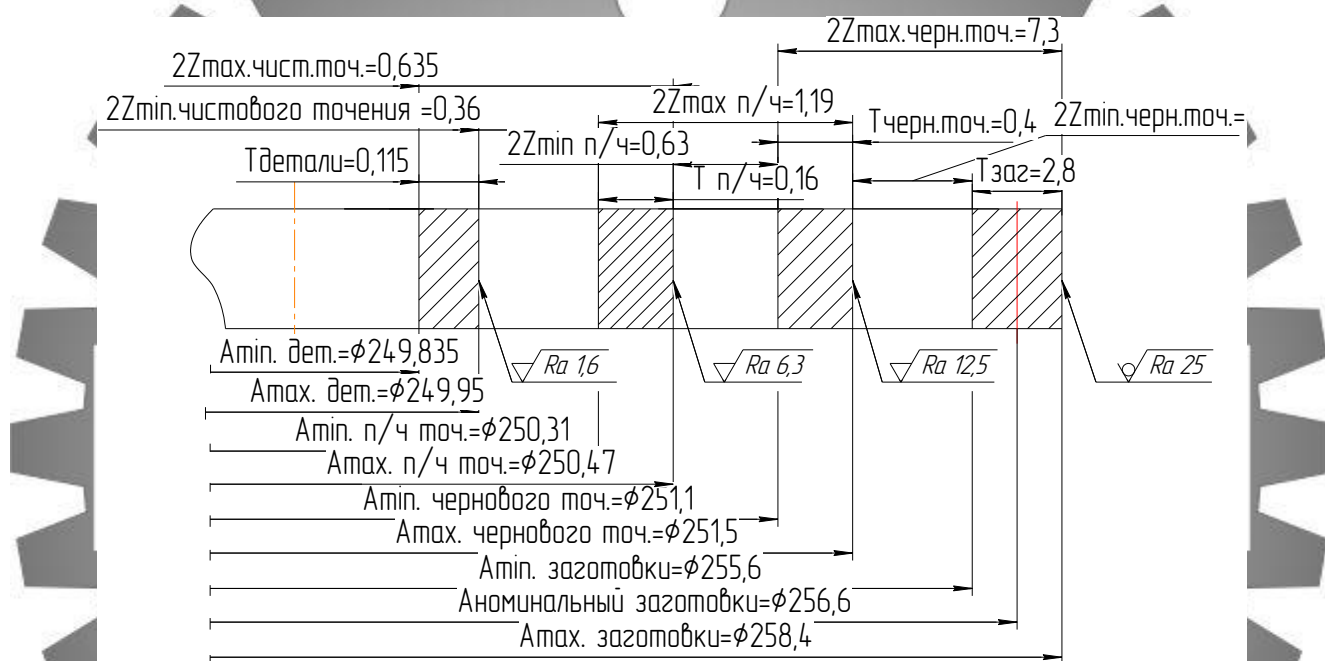


Рисунок 2.2 – Схема розміщення припусків на обробку діаметрального розміру $\phi 250f9$ мм

2.4 Розмірний аналіз технологічного процесу для лінійних розмірів

Вихідні дані для розрахунку технологічних розмірів і допусків (ескіз деталі, ескіз заготовки, ескізи маршрутного технологічного процесу (ТП)) зображені на рисунку 2.3.

Визначаємо допуски на технологічні розміри виходячи з економічної точності та існуючих домінуючих похибок (таблиця 2.3).

Для розміру A1.1 домінуюча похибка дорівнює величині жолоблення, так як даний розмір проставлений від «чорнової» поверхні, $\rho_{заг} = \rho_{кор} = 0,5$ мм. Доміную-

чою похибкою при виконанні інших розмірів приймаємо рівною нулю, так як будуть збігатися вимірювальна і технологічна бази.

Допуск на розміри при операціях, де виникають домінуючі похибки, розширюємо на цю величину.

Обчислення при розрахунку лінійних технологічних розмірних ланцюгів виробляємо в таблицю 2.3.

Значення припусків (графу 2) визначаємо за формулою:

$$Z_{\min i,j} = Rz_{i-1,j} + h_{i-1,j}, \quad (2.3)$$

де $Rz_{i-1,j}$ – величина шорсткості попередньої операції, мкм;

$h_{i-1,j}$ – величина дефектного шару, мкм.

По [4] для поковки $m < 250$ кг, що виготовляється куванням $Rz=200$ мкм, $h=250$ мкм. Тоді $Z_{1,1} = 200+250=450$ (мкм) = 0,45 мм, $Z_{1,1} = 0,67$ мм.

По [4] для чистової стадії обробки $Rz=25$ мкм, $h=25$ мкм. Тоді $Z_{2,1} = 25+25=50$ мкм = 0,05 мм. Отримані результати записуємо в графу 2 (табл. 2.3).

Очікувану похибку визначаємо по дереву графа (рисунок 2.3), мм:

$$\omega S_1 = TA_{4,1} = 0,087;$$

$$\omega S_2 = TA_{3,3} = 0,04;$$

$$\omega S_3 = TA_{2,1} + TA_{2,2} + TA_{3,1} + TA_{3,2} + TA_{3,3} = 0,85 + 0,25 + 0,22 + 0,14 + 0,04 = 1,4;$$

$$\omega S_4 = TA_{3,5} = 0,04;$$

$$\omega S_5 = TA_{3,4} + TA_{3,5} = 0,19 + 0,04 = 0,23;$$

$$\omega Z_{1,1} = TA_{1,1} + TA_{0,1} = 0,85 + 2,5 = 3,35;$$

$$\omega Z_{1,2} = TA_{1,2} + TA_{1,1} + TA_{0,2} = 0,3 + 0,85 + 2,5 = 3,65;$$

$$\omega Z_{1,4} = TA_{1,4} + TA_{1,1} + TA_{0,3} + TA_{0,4} = 0,25 + 0,85 + 2,8 + 1 = 4,9;$$

$$\omega Z_{2,1} = TA_{1,1} + TA_{2,1} = 0,85 + 0,85 = 1,7;$$

$$\omega Z_{2,2} = TA_{0,3} + TA_{1,1} + TA_{2,1} + TA_{2,2} = 2,8 + 0,85 + 0,85 + 0,25 = 4,75;$$

$$\omega Z_{3,1} = TA_{2,1} + TA_{3,1} = 0,85 + 0,22 = 1,07;$$

$$\omega Z_{3,2} = TA_{3,1} + TA_{3,2} = 0,22 + 0,14 = 0,36;$$

$$\omega Z_{3,3} = TA_{1,4} + TA_{3,1} + TA_{3,2} + TA_{3,3} = 0,25 + 0,22 + 0,14 + 0,04 = 0,65;$$

$$\omega Z_{3,4} = TA_{1,2} + TA_{3,1} + TA_{3,2} + TA_{3,4} = 0,3 + 0,22 + 0,14 + 0,19 = 0,85;$$

$$\omega Z_{3,5} = TA_{1,3} + TA_{3,1} + TA_{3,2} + TA_{3,5} = 0,3 + 0,22 + 0,14 + 0,04 = 0,7;$$

$$\omega Z_{4,1} = TA_{3,2} + TA_{4,1} = 0,14 + 0,087 = 0,227.$$

Отримані результати записуємо в графу 3 (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 - Розрахунок допусків на технологічні розміри

Індекс розміру	Спосіб обробки	Точність розміру	Шорсткість	Дефектний шар	Величина розміру, мм	Величина допуску, мм	Домінуюча похибка	Розрахунковий допуск
A _{0,1}	Штамповка на КГШП	T4 по ГОСТ 7505-89	Rz 200	250	до 120	2,5 $\begin{matrix} 1,6 \\ 0,9 \end{matrix}$	-	2,5 $\begin{matrix} 1,6 \\ 0,9 \end{matrix}$
A _{0,2}	Штамповка на КГШП	T4 по ГОСТ 7505-89	Rz 200	250	до 120	2,5 $\begin{matrix} 1,6 \\ 0,9 \end{matrix}$	-	2,5 $\begin{matrix} 1,6 \\ 0,9 \end{matrix}$
A _{0,3}	Штамповка на КГШП	T4 по ГОСТ 7505-89	Rz 200	250	до 120	2,8 $\begin{matrix} 1,8 \\ 1,0 \end{matrix}$	-	2,8 $\begin{matrix} 1,8 \\ 1,0 \end{matrix}$
A _{0,4}	Штамповка на КГШП	T4 по ГОСТ 7505-89	Rz 200	250	до 40	1,0 $\begin{matrix} 0,3 \\ 0,7 \end{matrix}$	-	1,0 $\begin{matrix} 0,3 \\ 0,7 \end{matrix}$
A _{1,1}	Чорнове підрізання	12	Rz 100	100	До 120	0,35	$\rho_{кор} = 0,5$	0,85
A _{1,2}	Чорнове підрізання	12	Rz 100	100	До 80	0,3	-	0,3
A _{1,3}	Чорнове підрізання	12	Rz 100	100	До 80	0,3	-	0,3
A _{1,4}	Чорнове підрізання	12	Rz 100	100	До 50	0,25	-	0,25
A _{2,1}	Чорнове підрізання	12	Rz 100	100	До 120	0,35	$\rho_{кор} = 0,5$	0,85
A _{2,2}	Чорнове підрізання	12	Rz 100	100	До 50	0,25	-	0,25
A _{3,1}	Напівчистове підрізання	11	Rz 50	50	До 120	0,22	-	0,22
A _{3,2}	Чистове підрізання	10	Rz 50	50	До 120	0,14	-	0,14
A _{3,3}	Чистове підрізання	8	Rz 10	10	До 50	0,04	-	0,04
A _{3,4}	Напівчистове підрізання	11	Rz 50	50	До 80	0,19	-	0,19
A _{3,5}	Чистове підрізання	8	Rz 10	10	До 80	0,04	-	0,04
A _{4,1}	Шліфування	9	Rz 10	10	До 120	0,087	-	0,087

Згідно вихідним даним будуємо розмірну схему технологічного процесу (рис. 2.3).

Для зручності виявлення технологічних розмірних ланцюгів будуємо граф маршрутного технологічного процесу (рис. 2.4).

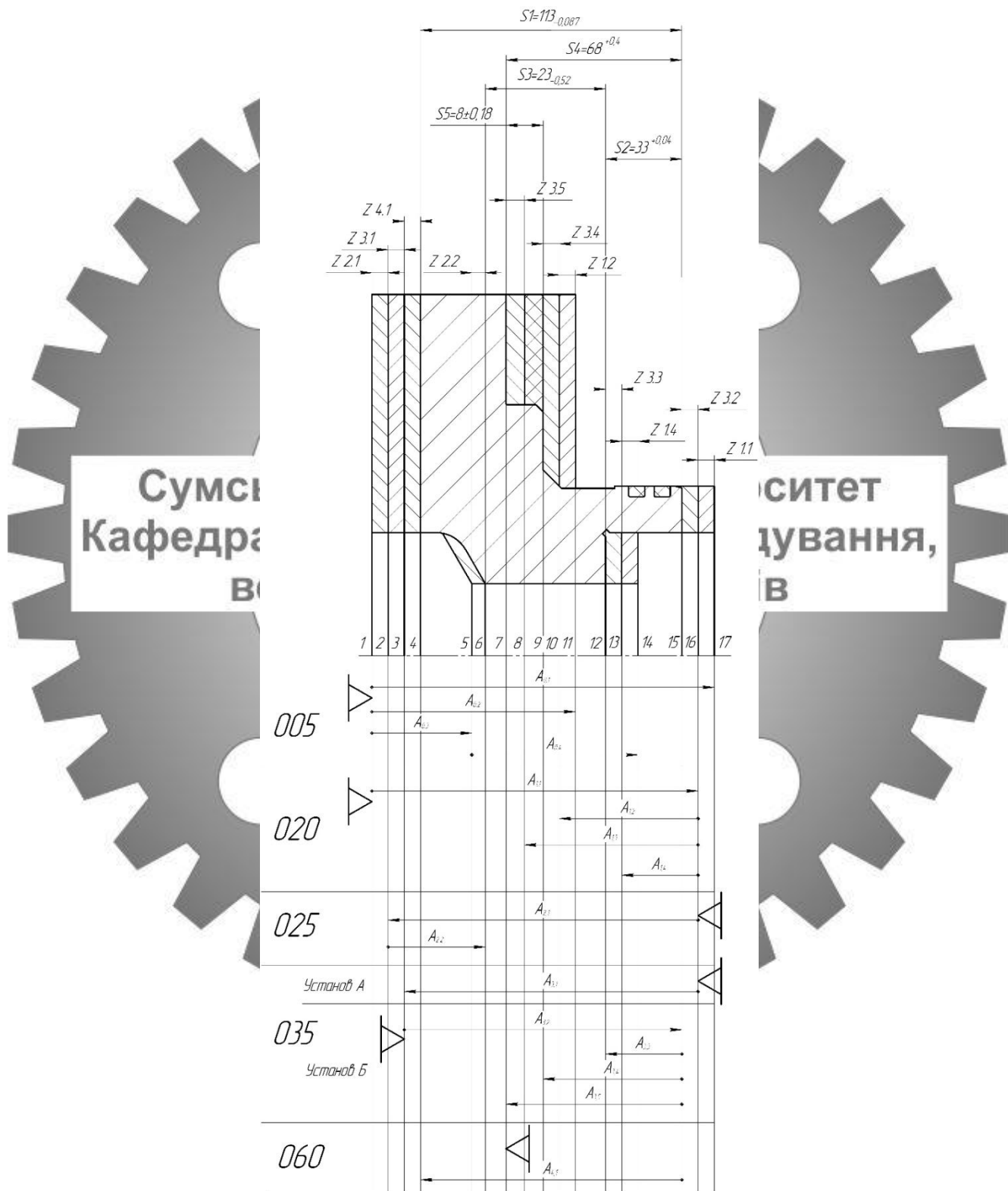


Рисунок 2.3 – Розмірна схема технологічного процесу

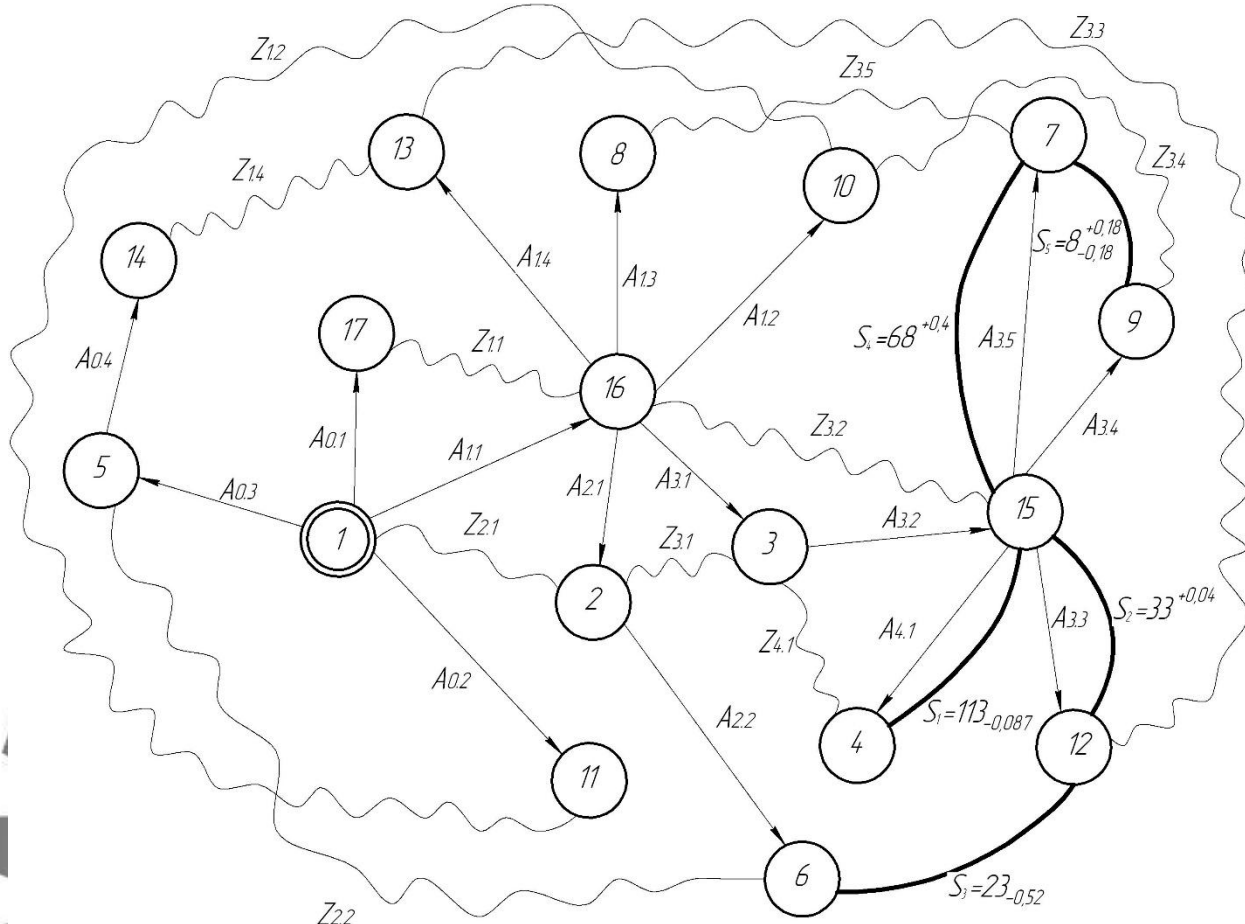


Рисунок 2.4 – Граф технологічних розмірних ланцюгів.
 Розраховуємо середні значення розмірів і записуємо їх у графу 4 (табл. 2.4).
 Середні значення припусків визначаємо за формулою:

$$Z_{i,j_{cp}} = \frac{\omega Z_{i,j}}{2} + Z_{\min i,j}. \quad (2.4)$$

Визначаємо допустиме коригування конструкторських розмірів:

$$K_{S_i} = \pm \frac{1}{2} (TS_i - \omega S_i). \quad (2.5)$$

$$K_{S_1} = \pm \frac{1}{2} (0,087 - 0,087) = 0.$$

Отримані результати записуємо в графу 5.

Користуючись графом (рис. 2.4) записуємо рівняння розмірного ланцюга в графу 9 (таблиці 2.4).

У графі 7 записуємо позначення технологічних розмірів, які знаходяться по відповідним рівнянням.

У графі 8 (таблиці 2.4) записуємо значення допусків на відповідні технологічні розміри з графі 9 (таблиці 2.4).

Розраховуємо по рівняннях розмірної ланцюга конструкторські розміри на прикладі розміру S_1 :

$$A_{1.2\text{cp}} = S_1 = 112,96;$$

$$A_{1.2\text{ном}} = A_{1.2\text{cp}} + TA_{1.2}/2 = 112,96 + 0,087/2 = 113_{-0,087};$$

$$A_{1.2\text{ном ск}} = 113_{-0,087};$$

$$A_{1.2\text{cp ск}} = A_{1.2\text{ном ск}} - TA_{1.2}/2 = 113 - 0,087/2 = 112,96;$$

Перевірка.

Конструкторський розмір $S_1 = A_{1.2} = 113_{-0,087}$, $S_{1к} = 113_{-0,087}$, забезпечується, отже розрахунок проведений вірно.

Припуск $Z_{4.1} = A_{3.2} - A_{4.1} = 113,3_{-0,14} - 113_{-0,087} = 0,3_{+0,087}^{+0,14}$ мм. Зняття мінімального припуску $Z_{4.1} = 0,16$ мм забезпечено – його збільшення на 0,06 мм вийшло в результаті корекції розміру $A_{3.2}$ на 0,16 мм. Отже, розмір $A_{3.2}$ розрахований правильно.

Висновок: перевірка забезпечення мінімальних припусків і конструкторських допусків показала позитивний результат.

Таблиця 2.4 – Розрахунок технологічних розмірів

Відомі (задані) розміри						Невідомі (шукані) розміри						
Розміри	Величина та допуск	Очікувана похибка	Середній розрахунковий	Допустима корекція	Середній скоректований розмір	Розмір	Допуск	Рівняння контура	Середній розрахунковий розмір	Номинальний розрахунковий розмір	Номинальний скоректований розмір	Середній скоректований розмір
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
S_1	140_{-1}	0,4	139,5	$\pm 0,3$	139,8	$A_{2,3}$	-0,4	$A_{2,3} - S_1 = 0$	139,5	$139,7_{-0,4}$	$140_{-0,4}$	139,8
S_2	$20_{-0,05}$	0,033	$19,975$	$\pm 0,0085$	19,9835	$A_{2,2}$	-0,033	$A_{2,2} - S_2 = 0$	$19,975$	$19,9915_{-0,033}$	$20_{-0,033}$	19,9835
$Z_{2,3}$	0,1	0,8	0,5	$+\infty$	0,5	$A_{2,1}$	-0,4	$A_{2,1} - Z_{2,3} - A_{2,3} = 0$	140,3	$140,5_{-0,4}$	$140,5_{-0,4}$	140,3
$Z_{2,1}$	0,1	1,4	0,8	$+\infty$	1,2	$A_{1,2}$	-1	$A_{1,2} - Z_{2,1} - A_{2,1} = 0$	141,1	$141,6_{-1}$	142_{-1}	141,5
$Z_{2,2}$	0,1	1,633	$0,9165$	$+\infty$	1,0785	$A_{1,3}$	+0,21	$A_{1,3} + Z_{2,2} - A_{2,2} + A_{2,1} - A_{1,2} = 0$	$20,267$	$20,162^{+0,21}$	$20^{+0,21}$	20,105
$Z_{1,2}$	0,45	3	1,95	$+\infty$	2	$A_{1,1}$	-1	$A_{1,1} - A_{1,2} - Z_{1,2} = 0$	$143,45$	$143,95_{-1}$	144_{-1}	143,5
$Z_{1,1}$	0,45	10	5,45	$+\infty$	5,5	$A_{0,1}$	8_{-4}^{+4}	$A_{0,1} - Z_{1,1} - A_{1,1} = 0$	$148,95$	$148,95_{-4}^{+4}$	149_{-4}^{+4}	149

2.5 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення

Для розгляду та аналізу у цьому пункті було обрано 3 операції:

- токарна з ЧПК 015;
- комплексна на обробному центрі з ЧПК 045;
- плоскошліфувальна 060.

На токарній з ЧПК операції 020 з одного установа проводиться чорнове точіння заготовки. Найбільш раціональною схемою базування є трикулачковий патрон з упором в торець. Заготовка буде позбавлена п'яти ступенів свободи (установча база по лівому торцю, і подвійна опорна база по діаметру), вакантним залишається один зв'язок - обертання навколо власної осі (рис 2.5 і 2.6).

Похибка базування для виконуваних діаметральних розмірів зведеться до нуля. Для лінійних 117(0;-0,05), 49(0;-0,5) так само, так як співпадає вимірювальна і технологічні бази, лівий торець (рис. 2.5). Для інших лінійних розмірів похибка базування буде дорівнює похибки позиціонування верстата, $E_6 = E_{\text{поз}} = 0,02$ мм, що менше допусків на виконувани розміри.

На операції 045 комплексна з ЧПК проводиться обробка отворів розміщених на торці заготовки, з одного установа. Базувати заготовку більш раціонально на оправці і по торцю фланця (рис. 2.6). Торець – установча база, циліндрична поверхня $\varnothing 320h6$ – подвійна опорна база, в результаті заготовка буде позбавлена п'яти ступенів свободи, вакантною залишається одна зв'язок, обертання навколо власної осі (рис. 2.5 і 2.6).

Орієнтувати заготовку відносно будь-яких уже наявних поверхонь не треба, то необхідність позбавлення шостого ступеня (обертання навколо осі) не потребує.

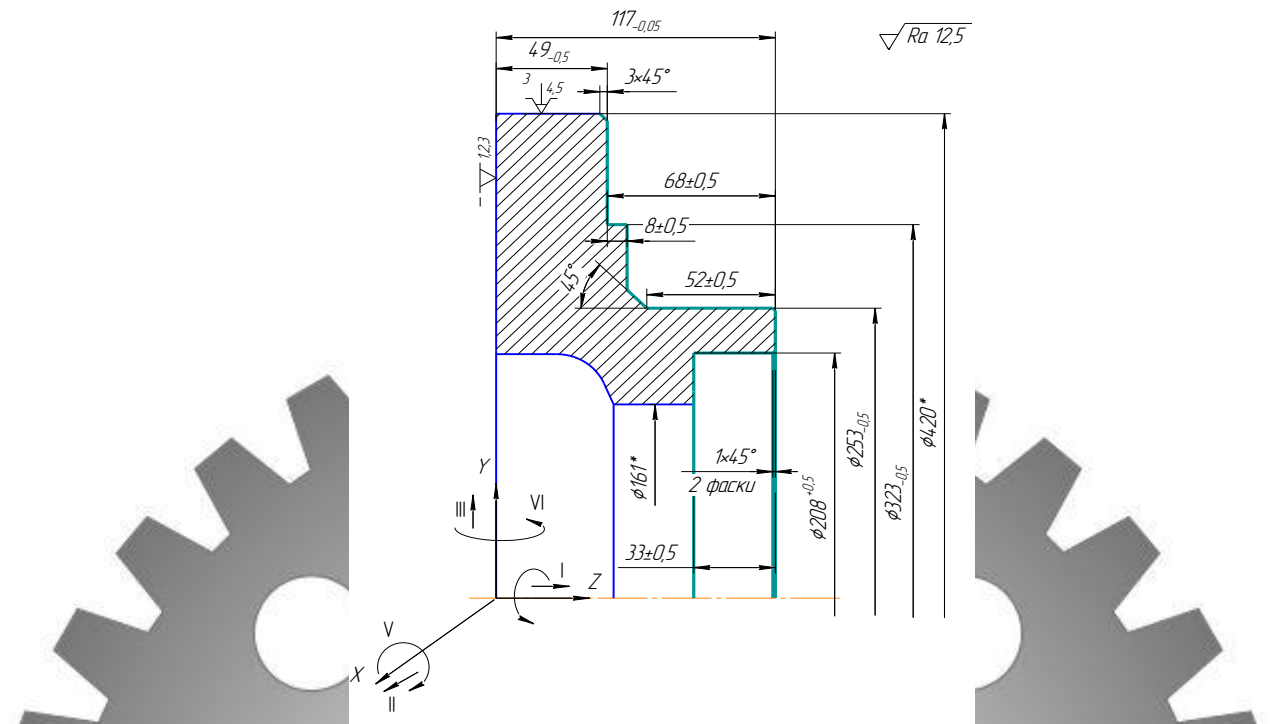


Рисунок 2.5 – Схема базування деталі на токарній з ЧПК операції 020

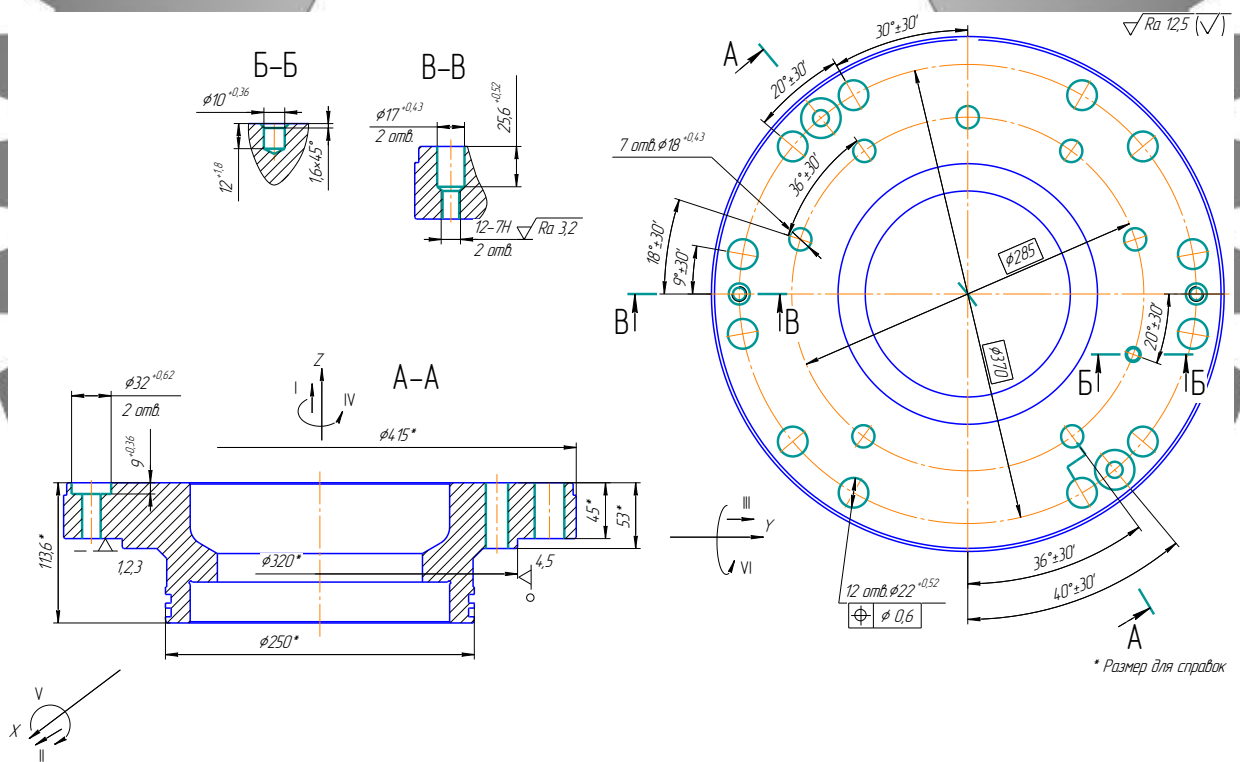


Рисунок 2.6 – Схема базування на комплексній з ЧПК операції 045

Похибка базування для глибин отворів розглядати не будемо так як вони виконані на прохід. Похибка базування на розташування отворів (позиційний допуск) буде визначатися як:

$$E_{б\ поз} = \delta_1 + \delta_2 + 2\Delta$$

2.6 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Металорізальний верстат вибирається виходячи з вимог до якості поверхні, яку необхідно отримати, необхідної потужності двигунів, габаритів, типу виробництва, кількості інструментів на даній операції.

На операції 020 токарна з ЧПК проводиться чорнова обробка заготовки з одного установа.

Металорізальний верстат вибираємо за наступними критеріями:

- технологічні методи обробки поверхонь: для обробки вищевказаних поверхонь було розглянуто перелік токарних верстатів, проаналізувавши, був обраний верстат моделі 16К30Ф3, який оснащений системою ЧПК [4];
- потужність двигуна: верстат даної моделі оснащений 22 кВт двигуном, якого достатньо для точіння поверхонь корпусу;
- габарити робочого простору: дане обладнання дозволяє обробляти заготовки діаметром - до 630 мм, і довжиною - до 1400 мм, що дозволить встановити заготовку;
- тип виробництва: при дрібносерійному виробництві перевага віддається універсальному обладнанню з ЧПК, таким обладнанням є верстат моделі 16К30Ф3.

Основні технічні характеристики токарного верстата моделі 16К30Ф3 наступні:

- найбільший діаметр оброблюваної заготовки над:
- станиною - 630 мм,
- супортом - 320 мм;
- найбільша довжина оброблюваної заготовки - до 1400 мм;
- крок метричної різьби до 10 мм;
- частота обертання шпинделя $6,3 \div 1250 \text{ хв}^{-1}$;
- подача:
- поздовжня $1 \div 1200 \text{ мм/хв}$;

- поперечна $1 \div 600$ мм/хв;
- потужність електродвигуна приводу головного руху - 22 кВт.

З двох вищенаведених верстатів обробку раціонально проводити на токарно-гвинторізному обладнанні моделі 16К30Ф305, так як система ЧПК дозволить скоротити основний час, усунути «людський» фактор, так само гвинторізний верстат набагато продуктивніше від карусельного.

Для обробки отворів на операції 045 приймаємо свердлильно-фрезерно-розточний верстат з ЧПК моделі 21105Н7Ф4.

Дане обладнання було вибрано з урахуванням наступних показників:

- технологічні методи обробки поверхонь: для обробки отворів можна застосувати обладнання універсальне (радіально-свердлильний верстат моделі 2554) або комплексний центр з ЧПК. Проаналізувавши, був обраний комплексний центр з ЧПК, так як обладнання має магазин інструментів, виконує обробку отворів з точністю позиціонування і дозволить виключити розмічальні операції, а також час на обробку скоротиться за рахунок зменшення як основного так і допоміжного часу (вихід в вихідну точку, зміна інструменту, усунення «людського» фактора).

- потужність двигуна: на даній обробці використовується тільки один двигун, який здійснює головний рух і рух подачі, його потужність становить 6,3 кВт. Цієї потужності достатньо для обробки, так як сили, що виникають при обробці, порівняно малі;

- габарити робочого простору: верстат даної моделі має робочу поверхню столу 500x800 мм, що дозволить встановити пристосування з заготовкою;

- тип виробництва: при дрібносерійного виробництва перевага віддається універсальному обладнанню з ЧПК, таким верстатом є верстат моделі 21105Н7Ф4.

Паспортні дані багатоцільового верстата моделі 21105Н7Ф4:

- робоча поверхня столу – 500x800 мм;
- виліт шпинделя, мм – $0 \div 700$ мм;
- число швидкостей шпинделя – б/с;

- частота обертання шпинделя – $25 \div 2500$ об/хв;
- число подач шпинделя – б/с;
- подача шпинделя – $5 \div 2000$ мм/хв;
- потужність електродвигуна – 6,3 кВт.

На плоскошліфувальній операції 060 шліфується площина торця корпусу.

Дане обладнання було вибрано з урахуванням наступних показників:

- технологічні методи обробки поверхонь: для обробки вищевказаних поверхонь було розглянуто перелік плоскошліфувальних верстатів, проаналізувавши, був обраний верстат моделі 3Д421А [4];

- потужність двигуна: верстат даної моделі оснащений 30 кВт двигуном, якого достатньо для шліфування поверхонь корпусу;

- габарити робочого простору: дане обладнання має стіл діаметром 800 мм, що дозволить встановити заготовку;

- тип виробництва: при дрібносерійному виробництві перевага віддається універсальному обладнанню, таким обладнанням є верстат даної моделі.

Основні технічні характеристики плоскошліфувального верстата моделі 3Д412А наступні:

- розміри робочої поверхні столу – 800 мм;
- найбільше переміщення столу і шліфувальної бабки – 0,005 мм;
- частота обертання шпинделя шліфувального круга – 1330 об/хв;
- швидкість поздовжнього переміщення стола – $8 \div 96$ м/хв;
- потужність електродвигуна головного приводу – 30 кВт.

2.7 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів

Виходячи з типу виробництва (дрібносерійне) найбільш доцільно застосувати систему універсально складальних пристроїв (УСП) згідно ГОСТ 14.305.

На токарній з ЧПК операції 020 використовується наступне оснащення:

– патрон 7102-0002 ГОСТ 24351, для закріплення використовується трьохкулачковий самоцентруючий патрон;

– різець PERBR2525L12 T5K10 ГОСТ 9795 (чорнові ходи, правий):

P – тип механічного кріплення пластини – підтиск важелем через отвір для пластинок з отвором;

E – форма пластини ромбічна з кутом при вершині 75°;

R – головний кут в плані 75°;

B – задній кут 5°;

R – виконання - праве,

2525 – переріз державки 25x25 мм,

L – довжина різця - 140 мм,

12 – довжина ріжучої кромки - 12 мм.

Контурний правий різець з пластиною з твердого сплаву T5K10 – для чорнового точіння;

– різець 2141-0008 T5K10 ГОСТ 18883 (розточний різець для глухих отворів з пластиною з твердого сплаву T5K10 - для чорнового точіння);

– для вимірювання розмірів обираємо штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1, ШЦ-II-500-0,1 ГОСТ 166.

На комплексній з ЧПК операції 045 використовується наступне оснащення:

– пристрій спеціальний – дозволить реалізувати схему базування;

– свердло 2301-0371 P6M5 ГОСТ 2092 – спіральне свердло $\varnothing 6$ з конічним хвостовиком, конус Морзе 1, застосовується для центрування отворів;

– свердло 2301-0398 P6M5 ГОСТ 2092 – спіральне свердло $\varnothing 10$ з конічним хвостовиком, конус Морзе 2, застосовується для свердління отвору;

– свердло 2301-0400 P6M5 ГОСТ 2092 – спіральне свердло $\varnothing 10,2$ з конічним хвостовиком, конус Морзе 2, застосовується для свердління отвору під нарізання різьби M12-7H;

– свердло 2301-0423 P6M5 ГОСТ 2092 – спіральне свердло $\varnothing 15$ з конічним хвостовиком, конус Морзе 2, застосовується для свердління отвору;

- свердло 2301-0427 Р6М5 ГОСТ 2092 – спіральне свердло $\varnothing 17$ з конічним хвостовиком, конус Морзе 2, застосовується для свердління отвору;
- свердло 2301-0431 Р6М5 ГОСТ 2092 – спіральне свердло $\varnothing 18$ з конічним хвостовиком, конус Морзе 2, застосовується для свердління отвору;
- свердло 2301-0446 Р6М5 ГОСТ 2092 – спіральне свердло $\varnothing 22$ з конічним хвостовиком, конус Морзе 2, застосовується для свердління отвору;
- зенковки 2353-0142 Р6М5 ГОСТ 14953 – зенковки конічна 90° , обробляється фаска $1,6 \times 45^\circ$;
- циковка спеціальна Р6М5, застосовується для отримання $\varnothing 32$ мм;
- мітчик 2620-3735 Р6М5 ГОСТ 3266 – мітчик М12-7Н, застосовується для нарізання різьби;
- втулка 6100-0315 ГОСТ 13598 – перехідна втулка з конуса Морзе 2 на 4;
- втулка 6100-0258 ГОСТ 13598 – перехідна втулка з конуса Морзе 1 на 4;
- вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1, ШЦ-I-500-0,1 ГОСТ 166;
- зразки шорсткості ГОСТ 5378;
- пробка 8221-30537Н ГОСТ 17758, пробка ПР/НЕ М12-7Н, застосовується для контролю отвору.

На плоскошліфувальній операції $\varnothing 60$ використовується оснащення:

- магнітна плита ГОСТ 17519;
- універсально-складальний пристрій ГОСТ 14364, за допомогою якого реалізується схема базування;
- ріжучий інструмент – шліфувальний круг ПП500x100x100 24А М50 см2 Зкл 40м/с 2кЛА ГОСТ 2424.
- вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05 ГОСТ 166;
- зразки шорсткості ГОСТ 5378.

2.8 Розрахунок режимів різання

Розрахуємо аналітичним методом точіння циліндричної ступені Ø237 мм начорно на операції 020.

Вихідні дані:

Рекомендації для обробки поверхні Ø2: оброблюваний матеріал сталь 30ХА ГОСТ 4243, матеріал робочої частини РІ Т5К10, ЗОР – емульсія.

Глибина різання:

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{256 - 253}{2} = 1,5 \text{ мм}$$

подача $S_{\text{доп}} = 0,35$ мм/об – допустима подача з урахуванням таких поправочних коефіцієнтів;

$K_{Sd} = 0,9$ – переріз державки;

$K_{SN} = 0,9$ – міцність ріжучої частини;

$K_{SM} = 1,0$ – механічні властивості оброблюваного матеріалу;

$K_{SY} = 0,9$ – схема установки;

$K_{SP} = 1,0$ – стан поверхні;

$K_{S\phi} = 1,0$ – геометрія різця;

$S_{\text{таб}} = 0,5$ мм/об – таблицна подача.

$$S_{\text{доп}} = S_{\text{таб}} \cdot K_{Sd} \cdot K_{SN} \cdot K_{SM} \cdot K_{SY} \cdot K_{SP} \cdot K_{S\phi} = 0,5 (0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,0) = 0,35 \text{ мм/об}$$

Стійкість ріжучого інструмента $T = 60$ хв;

Кількість проходів $i = 1$.

Швидкість різання визначаємо за формулою:

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_V$$

Вибираємо значення коефіцієнтів і показників ступенів: $C_v = 340$, $x = 0,15$,
 $y = 0,45$, $m = 0,2$;

$$K_v = K_{mv} K_{pv} K_{iv},$$

$K_{mv} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки;

$K_{pv} = 0,8$ – коефіцієнт враховує стан поверхні;

$K_{iv} = 1,0$ – коефіцієнт що враховує матеріал інструменту, тоді

$$K_v = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,8$$

$$V = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 1,5^{0,15} \cdot 0,35^{0,45}} \cdot 0,8 = 111,3 \text{ м/хв}$$

Частоту обертання шпинделя визначимо за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 111,3}{3,14 \cdot 253} = 140 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

приймаємо частоту обертання за паспортом $n_{пр} = 150 \text{ об/хв}$, м тоді

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 150 \cdot 253}{1000} = 119,2 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Силу різання визначаємо за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot K_p,$$

Вибираємо значення коефіцієнтів і показників ступенів у формулі сили різання при точінні (для конкретних умов обробки) по таблиці 22, с. 273 [4]:
 $C_p = 300$, $x = 1,0$, $y = 0,75$, $n = -0,15$;

$K_p = 1$ – коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання,

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,5^{1,0} \cdot 0,35^{0,75} \cdot 119,2^{-0,15} \cdot 1,0 = 966,8 \text{ Н.}$$

Потужність різання визначаємо за формулою:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{966,8 \cdot 119,2}{1020 \cdot 60} = 1,8 \text{ кВт.}$$

Паспортна потужність становить 3,1 кВт, відповідно обробка буде здійснена ($\eta N_{\text{ст}} > N_{\text{рез}}$, $0,8 \cdot 22 \text{ кВт} > 2,3 \text{ кВт}$, $17,6 > 2,3 \text{ кВт}$).

Визначаємо основний час обробки поверхні $\varnothing 253$, тобто час на безпосередню обробку за формулою:

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{60}{150 \cdot 0,35} = 1,1 \text{ хв}$$

де $L = 60 \text{ мм}$ – робочий хід різця.

Режими на інші переходи зводимо в таблицю 2.5

Розрахуємо аналітичним методом свердління отвору $\varnothing 22$ на прохід на операції 045. Глибина різання $t = 11 \text{ мм}$.

Подача $S = 0,18 \text{ мм/об}$ (з урахуванням поправочних коефіцієнтів) [4, с. 277].

Стійкість різального інструменту $T = 40 \text{ хв}$.

Визначаємо швидкість різання за формулою [4, с. 276]:

$$V = \frac{C_V \cdot D^g}{T^m \cdot S^y} K_V$$

де $C_V = 7,0$, $g = 0,4$, $y = 0,7$, $m = 0,2$ – коефіцієнти і показники у формулі швидкості різання [4, табл. 28, с. 278];

K_V – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання і визначається за формулою [4, с.282]:

$$K_V = K_{mv} K_{pv} K_{nv},$$

де K_{MV} – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу;

$K_{LV} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки на швидкість різання [4, табл. 5];

$K_{IV} = 0,8$ – коефіцієнт що враховує вплив інструментального матеріалу на швидкість різання [4, табл. 6].

Коефіцієнт K_{MV} розраховуємо за формулою [4, табл. 1]:

$$K_{MV} = K_r (750/\sigma_B)^{n_v},$$

де $K_r = 1,0$ – коефіцієнт, що характеризує групу сталі оброблюваності [7];

$n_v = 1,0$ – показник [7, табл. 2].

Тоді: $K_{MV} = 1,0 \cdot (750/930)^{1,0} = 0,8$.

Тоді:

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів

$$K_V = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,64.$$

З урахуванням поправочних коефіцієнтів визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{7,0 \cdot 22^{0,4}}{40^{0,2} \cdot 0,18^{0,7}} \cdot 0,64 = 24,4 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot 24,4}{3,14 \cdot 22} = 353 \frac{\text{об}}{\text{хв.}}$$

Визначаємо крутний момент за формулою [4]:

$$M_{кр} = 10C_M D^q S^y K_p,$$

де $C_M = 0,0345$, $q = 2,0$, $y = 0,7$ – коефіцієнти у формулі сили різання [4];

K_p – поправочний коефіцієнт що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності, розраховується за формулою [4];

$$K_p = (\sigma_b / 750)^n,$$

де $n = 0,3$ – показник [7].

$$K_p = (\sigma_b / 750)^n = (930 / 750)^{0,3} = 1,1.$$

З урахуванням поправочних коефіцієнтів крутний момент буде дорівнювати, Н·м:

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,035 \cdot 22^{2,0} \cdot 0,18^{0,7} \cdot 1,1 = 56,1 \text{ Н·м.}$$

Визначаємо осьову силу за формулою:

$$P_o = C_p D^q S^y K_p,$$

де $C_p = 68$, $q = 1,0$, $y = 0,7$ – коефіцієнти і показники у формулі сили різання [4].

З урахуванням поправочних коефіцієнтів осьова сила буде дорівнює, Н:

$$P_o = 68 \cdot 22^1 \cdot 0,18^{0,7} \cdot 1,1 = 45 \text{ Н.}$$

Потужність різання визначається за формулою, кВт:

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{56,1 \cdot 353}{9750} = 2,0 \text{ кВт.}$$

Так як потужність різання менше потужності верстата ($2,0 < 6,3 \cdot 0,8$), то обробка можлива.

Визначаємо основний час за формулою:

$$T_0 = \frac{L}{S \cdot n},$$

де $L = 45 + 7 = 52$ мм – робочий хід свердла,

$$T_0 = 52 / 0,18 \cdot 353 = 0,8 \text{ хв.}$$

Розрахунки режимів на інші переходи зводимо в табл. 2.5.

Розрахуємо аналітичним методом шліфування торця заготовки на операції 060. Шліфування проводиться периферією круга.

Вихідні дані: на даній операції шліфується площина корпусу. Пристрій закріплюється на магнітній плиті. ЗОР – емульсія. Опрацьований матеріал – сталь 30ХА.

Глибина різання не повинна перевищувати половину зерна шліфувального круга, так як обраний круг має зернистість 50, то приймаємо глибину $t = 0,2$ мм.

Приймаємо швидкість кола $V_k = 38$ м/с.

Визначимо поперечну подачу, яка становить $S_{\text{поп}} = (0,2 \div 0,3)$.

Визначимо подовжню подачу або швидкість деталі по формулі:

$$V_d = \frac{C}{T^m \cdot t^x \cdot S^y},$$

де $C = 25$ – коефіцієнт;

$T = 25$ хв – економічна стійкість круга;

$t = 0,2$ мм – глибина шліфування;

$S = 20$ мм/хід – поперечна подача;

$x = 0,8$ – показатель ступеня;

$y = 0,8$ – показатель ступеня, тоді

$$V_d = \frac{0,52}{25^{0,2} \cdot 0,2^{0,8} \cdot 20^{0,2}} = 26,1 \text{ м/хв.}$$

Дану швидкість не коригуємо, так як верстат оснащений безступінчатою коробкою швидкостей. Визначаємо тангенціальну силу при периферійному шліфуванні за формулою:

$$P_z = 25 \frac{V_d}{V_k} t^{0,53} S^{0,53} = 25 \frac{26,1}{38} 0,2^{0,53} 20^{0,53} = 35,8 \text{ кгс.}$$

Визначаємо потужність, затрачену безпосередньо на процес шліфування за формулою:

$$N = \frac{P_z V_k}{102} = \frac{35,8 \cdot 38}{102} = 13,3 \text{ кВт.}$$

Визначимо основний час необхідне для шліфування площини шатуна за формулою:

$$T_o = \frac{(L + y) B_p h K}{1000 V_d S S_{tz}},$$

де $L = 420$ мм довжина шліфування;

$y = 20$ мм – перебіг столу в обидві сторони;

$B_p = 20$ мм – розрахункова ширина шліфування;

$h = 0,6$ мм – припуск на сторону;

$V_d = 26,1$ м/хв – швидкість столу;

$S = 20$ мм/хід – подача на ширину шліфування;

$S_t = 0,2$ мм/хід – подача на глибину шліфування;

$z = 1$ – кількість одночасно оброблюваних деталей;

$K = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує виходжування та знос круга, тоді:

$$T_o = \frac{(420 + 20)20 \cdot 0,6 \cdot 1,0}{1000 \cdot 26,1 \cdot 20 \cdot 0,2 \cdot 1,0} = 1,1 \text{ хв.}$$

Таблиця 2.5 – Загальна таблиця режимів різання

Поверхня	t, мм	i	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	T ₀ , хв
020 Токарна з ЧПК						
Точити ø253	1,5	1	0,35	119,2	150	3,3
Торець 117	1,5	1	0,35	119,2	150	2,2
Точити ø323	1,5	2	0,35	131,8	100	3,5
Торець 52	1	1	0,35	121,7	120	1,1
Разточити ø208	1	2	0,35	130,6	200	2,4
$\sum T_0$						12,5
045 Комплексна з ЧПК						
Центрувати ø6	3	1	0,14	15,1	800	0,05x22
Свердлити ø10	5	1	0,15	18,8	600	0,2
Свердлити ø10,2	5,1	1	0,15	19,2	600	0,6x2
Розсвердлити ø17	3,4	1	0,15	16,0	300	0,7x2
Нарізати M12-7H	0,5	2	1,75	11,3	300	0,1x2
Свердлити ø18	9	1	0,18	19,7	350	0,9x7
Свердлити ø22	11	1	0,18	24,4	350	0,8x12
Свердлити ø15	7,5	1	0,15	16,4	350	0,9x2
Цековати ø32	8,5	1	0,2	20,1	200	0,5x2
$\sum T_0$						22,8

2.9 Технічне нормування операцій

Технічне нормування операцій здійснюємо згідно вибору з відповідної літератури норм допоміжного часу. Метою даного нормування є визначення норми штучно-калькуляційного часу на операції. Дані про режими різання беремо з попереднього пункту.

Основний час на операції складається із сум основних часів на окремих переходах.

Токарна з ЧПК операція – 020.

Визначаємо допоміжний час за формулою:

$$T_B = T_{уст} + T_{уп} + T_{изм}, \quad (2.6)$$

де $T_{уст} = 8$ хв – час на установку і зняття заготовки вручну;

$T_{уп} = 12$ хв – допоміжний час на управлінням верстатом;

$T_{изм} = 2,5$ хв – час на вимірювання карта.

$$T_B = 8 + 12 + 2,5 = 22,5 \text{ хв.}$$

Визначимо оперативний час.

$$T_{оп} = T_0 + T_B. \quad (2.7)$$

$$T_{оп} = 22,5 + 12,5 = 35 \text{ хв.}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування і часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного.

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів

$$T_{доп} = T_{оп} 15\% = 35 \cdot 0,15 = 5,3 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час за формулою:

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{доп}. \quad (2.8)$$

$$T_{шт} = 35 + 5,3 = 40,3 \text{ хв}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{шт-к} = T_{п.з} + \frac{T_{шт}}{N}, \quad (2.9)$$

$T_{п.з} = 20$ хв – підготовчо-заклучний час;

$N = 25$ шт. – число деталей в партії.

$$T_{шт-к} = 40,3 + 20/25 = 40,5 \text{ хв.}$$

Комплексна з ЧПК операція – 045.

Визначаємо допоміжний час за формулою (2.6),

$T_{уст} = 4,5$ хв – час на установку і зняття заготовки вручну;

$T_{уп} = 9,3$ хв – допоміжний час на управлінням верстатом;

$T_{изм} = 2,2$ хв – час на вимірювання карта.

$$T_b = 4,5 + 9,3 + 2,2 = 16 \text{ хв.}$$

Визначимо оперативний час за формулою (2.7):

$$T_{оп} = 16 + 22,8 = 38,8 \text{ хв.}$$

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування і часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного карта.

$$T_{доп} = T_{оп} 9\% = 38,8 \cdot 0,09 = 3,4 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час за формулою (2.8):

$$T_{шт} = 38,8 + 3,4 = 42,2 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою (2.9):

$T_{штз} = 25$ хв – підготовчо-заклучний час;

$N = 25$ шт. – число деталей в партії.

$$T_{шт-к} = 42,2 + 25/25 = 43,2 \text{ хв.}$$

Плоскошліфувальна операція – 060.

Визначаємо допоміжний час за формулою (2.6)

$T_{уст} = 3$ хв – час на установку і зняття заготовки вручну;

$T_{уп} = 8$ хв – допоміжний час на управлінням верстатом;

$T_{изм} = 1,5$ хв – час на вимірювання карта.

$$T_b = 3 + 8 + 1,5 = 12,5 \text{ хв.}$$

Визначимо оперативний час за формулою (2.7):

$$T_{оп} = 12,5 + 1,8 = 14,3 \text{ хв.}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування і часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного карта.

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів

$$T_{доп} = T_{оп} 10\% = 14,3 \cdot 0,1 = 1,5 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час за формулою (2.8)

$$T_{шт} = 14,3 + 1,5 = 15,8 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою (2.9):

$T_{п.з} = 18$ хв – підготовчо-заклучний час;

$N = 25$ шт. – число деталей в партії.

$$T_{шт-к} = 15,8 + 18/25 = 16,2 \text{ хв.}$$

2.10 Проектування верстатного пристрою

Проектування верстатного пристрою на токарну з ЧПК операцію. Обґрунтування необхідності створення пристосування. Вибір системи пристосування.

Для удосконалення та зниження собівартості деталі (зменшимо основний час за рахунок автоматичного виходу шпинделя на вихідні точки, а також за рахунок автоматичної обробки, зміни інструменту) в спроектованому технологічному процесі, обробку будемо здійснювати на токарному верстаті з ЧПК моделі 16Р40Ф3 із застосуванням пристрою, яке має пневмопривід. Використання спеціального пристрою з механізованим приводом дозволить знизити розряд верстатника даної операції, знизити трудомісткість обробки, підвищити стабільність точності параметрів операції, підвищити продуктивність і полегшити умови праці робітників за рахунок механізації пристрою. Система координат пристрою буде аналогічною системі верстата.

Уточнення мети технологічної операції. Точність розмірів.

На даній операції обробляються циліндричні поверхні зовнішні і внутрішні, підрізають торці. Точність і якість одержуваних поверхонь, їх взаємне розташування буде залежати від точності верстата, режимів обробки, а так само від точності безпосередньо самого пристрою. Основне завдання зводиться до точності базування заготовки щодо осі шпинделя верстата.

Для аналізу виконуваних поверхонь розглянемо найбільш точні, так як дана операція токарна чорнова, то найбільш точними поверхнями будуть найменші, які мають менше допуску. Згідно вищесказаного розглянемо такі поверхні $\varnothing 253_{-0,52}$ мм, $52^{+0,74}$ мм.

Технологом задана така точність – $\varnothing 253_{-0,52}$ мм, $es=0$ мм, $ei=-0,5$, допуск складе $T=0,52$ мм згідно ГОСТ 25347 відповідає – 12 квалітет.

Технологом задана така точність – $52^{+0,74}$ мм, $ES=+0,74$ мм, $EI=0$, допуск складе $T=0,74$ мм згідно ГОСТ 25347 відповідає – 14 квалітету.

Точність форми. Конструктором не обумовлена точність форми одержуваних поверхонь. Отже призначимо їх в процентної частки від допуску на розмір.

Допуск циліндричної (ограновування, елептичність) і профілю про-дольного перетину (бочко-, седло-, конусообразність) отвори $\varnothing 253_{-0,52}$ мм приймемо як 30% від допуску на розмір $T=0,3T=0,3\cdot 0,52=0,156$ мм, приймемо 120 мкм, що відповідає 11 ступеня точності згідно ГОСТ 24643. Допуск площинності торця складе 60% від допуску на розмір $52^{+0,74}$ мм, тоді $T=0,6\cdot 0,74=0,444$ мм, приймемо 0,4 мм – 13 ступеня точності.

Точність розташування поверхонь.

Оскільки розглянута операція є проміжною, то допуск розташування не заданий конструктором, отже призначимо самостійно в процентному співвідношенні від допуску на виконуваний розмір.

Допуск радіального биття складе 60% від допуску на розмір $\varnothing 253_{-0,52}$ мм, $T=0,6\cdot 0,52=0,312$, приймаємо 0,25 мм – 10 ступінь точності.

Допуск торцевого биття торця складе 60% від допуску на розмір $52^{+0,74}$ мм, тоді $T=0,6\cdot 0,74=0,444$ мм, приймаємо 400 мкм – 14 ступінь точності.

Шорсткість поверхонь становить 12,5 мкм за критерієм Ra. З'ясування кількісних і якісних даних про заготовку, що надходить на операцію.

На операцію заготовка надходить після заготівельної операції – вільна кування на молотах.

Базують поверхні: - діаметральна (подвійна опорна база) виконано в розмір $\varnothing 205_{-1,0}^{+1,8}$ мм, $es=1,8$ мм, $ei=-1,0$ мм, допуск складе $T=2,8$ мм; торець викував в розмір $118_{-0,9}^{+1,6}$ мм, $es=1,6$, $ei=-0,9$ мм, $T=2,5$ мм – 3 група точності, згідно ГОСТ 7505.

Точність форми.

Оскільки допуск форми не обговорений, проміжна операція, це означає що допуск входить до складу допуску на розмір. Для діаметральні поверхні розглянемо допуски профілю поздовжнього перерізу і циліндричної, і визначимо як $T=0,3T_{205}=0,3\cdot 2,8=0,84$ мм, приймаємо 0,8 – 15 ступінь точності.

Для торця розглянемо допуск плоскості. Допуск площинності торця приймемо як 60% від допуску на розмір 118 (+1,6;-0,9) мм, тоді $T_{пл} = 0,6\cdot T_{118}$

$=0,6 \cdot 2,5 = 1,5$ мм, приймаємо 1 мм – 16 ступінь точності.

Допуск торцевого биття становить $T=0,6 \cdot T_{118}=0,6 \cdot 2,5=1,5$ мм, приймаємо 1 мм – 15 ступінь точності.

Допуск радіального биття центрального отвору визначаємо як $T=0,6 \cdot 2,8=1,68$ мм, приймаємо 1,2 мм – 14 ступінь точності. Базові поверхні виконані з шорсткістю $Ra=25 \div 50$ мкм.

Таблиця 2.6 – Таблиця відповідності

Показник	Оброблювана поверхня		Базова поверхня	
	Ø253	52	Ø205	118
Точність розміру, квалітет	12	14	T3	T3
Точність форми, ступінь точності	11	13	15	16
Точність розміщення, ступінь точності	10	14	14	15
Шорсткість, мкм за Ra	12,5	12,5	25	25

Розробка і обґрунтування схеми закріплення.

Аналіз структури полів обурюють сили.

Для визначення взаємного впливу поля сил, що обурюють і поля призначені врівноважити сил побудуємо графічну модель сил, що обурюють у взаємозв'язку з прийнятою схемою базування.

Аналіз структури полів врівноважені сил.

З рис. 2.8 видно, що складові сил не врівноважені і вимагають додаткових сил закріплення. Величину сумарного зусилля закріплення необхідно вважати з умови не провороту від сили P , яка створить момент, схема зображена на рис. 2.9.

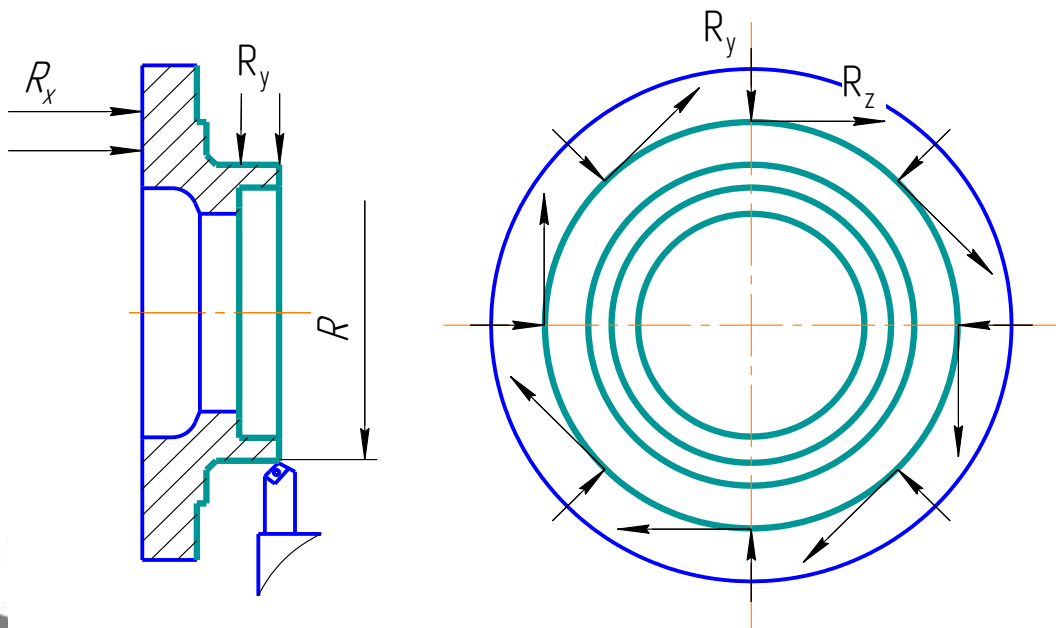


Рисунок 2.8 – Структура поля збудюючих сил по складовим

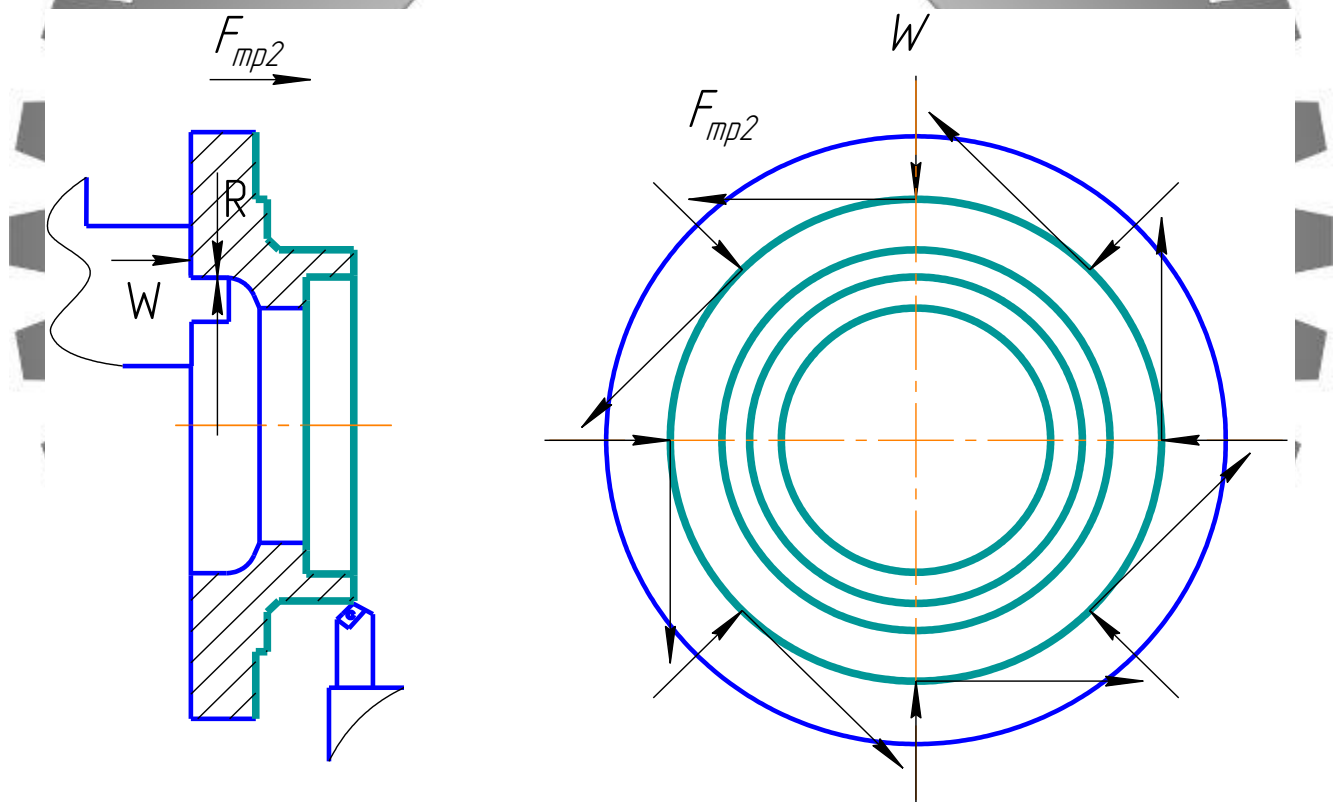


Рисунок 2.9 – Схема дії сил, прикладених до деталі

Розрахуємо аналітичним методом точіння циліндричної ступені $\varnothing 237$ мм начорно, згідно якого $P_z = 966,8$ Н.

Силу закріплення в трикулачковому патроні розраховуємо за формулою:

$$P_z = \frac{1,33 \cdot K \cdot L \cdot P_z}{D \cdot f}$$

де $K=2,5$ – коефіцієнт запасу,

$$K = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6,$$

де $K_0 = 1,5$ — гарантований коефіцієнт запасу при всіх випадках обробки;

$K_1 = 1,2$ — коефіцієнт, що залежить від виду поверхні деталі (необроблена або оброблена);

$K_2 = 1,1$ — коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при затупленні ріжучого інструменту;

$K_3 = 1$ — коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при обробці переривчастих поверхонь на деталі;

$K_4 = 1,5$ — коефіцієнт, що враховує сталість сили затиску, що розвивається силовим приводом пристрою;

$K_5 = 1,2$ — коефіцієнт, що враховується при наявності моментів, що прагнуть повернути оброблювану деталь навколо її осі;

$K_6 = 1$ — коефіцієнт, що враховує ергономіку ручних ЗМ [4, с. 384].

Тоді

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 1 = 2,5;$$

$f_1 = 0,2$ – коефіцієнт тертя між деталлю і установочними затискними елементами пристосування;

$L=117$ мм – довжина оброблюваної заготовки;

$D=237$ мм – діаметр оброблюваної заготовки;

$P_z= 966,8$ Н – сила різання.

Тоді сила закріплення заготовки буде дорівнює:

$$P_z = \frac{1,33 \cdot 2,5 \cdot 0,117 \cdot 966,8}{0,237 \cdot 0,2} = 7934 \text{ Н.}$$

Точнісні розрахунки пристосування.

Розглянемо допуск биття деталі в патроні, який не повинен перевищувати 250 мкм. Похибка виготовлення за цим параметром визначається за такою формулою:

$$E_{\text{пр}} \leq T - K_T \cdot \sqrt{K_{T1} \cdot E_6^2 + E_3^2 + E_y^2 + E_{\text{II}}^2 + E_{\text{И5}}^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + E_{\text{поз}}}$$

де $K_T = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення від нормального розподілу окремих складових;

$K_{T1} = 0,85$ – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення від нормального розподілу допусків базових поверхонь;

$E_6 = 0$ мкм – похибка базування (розглянута раніше);

$E_3 = 100$ мкм – похибка закріплення при установці на опорні пластини з пневматичним зажимом [3, с. 82, таблиця 40];

$E_y = 0$ мкм – похибка установки пристрою на верстаті, що базується по кінцевому фланцю верстата;

$E_{\text{II}} = 0$ мкм – похибка перекосу інструменту (відсутні направляючі елементи пристосування для ріжучого інструменту);

$E_{\text{И}} = 1$ мкм – похибка, що виникає внаслідок зносу встановлювальних елементів і визначається за формулою:

$$E_{\text{И}} = \omega \cdot N = 0,002 \cdot 500 = 1 \text{ мкм};$$

$K_{T2} = 0,6$ – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки обробки;

$\omega = 80$ мкм – середня економічна точність обробки [6];

$E_{\text{поз}} = 0$ мкм – похибка позиціонування інструменту [5].

Тоді похибка пристосування складе:

$$E_{\text{пр}} = 250 - 1,2 \sqrt{0,85 \cdot 0^2 + 100^2 + 0^2 + 0^2 + 1^2 + 0,6 \cdot 80^2 + 0} = 250 - 133 = 116 \text{ мкм.}$$

З урахуванням отриманих даних приймається допуск перпендикулярності установчої поверхні до базуючої поверхні пристрою 116 мкм, $T = 0,1$ мм. Похибка в даних межах виникає як результат складання похибок взаємного розташування окремих елементів пристрою.

Опис пристрою і принцип дії пристрою.

Патрон базується основою 4 на шпинделі верстата по конусу, і закріплюється за допомогою болтів 13. Патрон містить кулачки 12, що закріплюються за допомогою гвинтів 15 на зажимі 11 повзуна 10. Повзун 10 переміщається по напрямних корпусу патрона 5.

Оброблювану заготовку встановлюю на кулачки. Закріплення заготовки відбувається подачею повітря через пневморозподільник 3 в порожнину пневмокамери 2, при цьому мембрана разом зі штоком переміщається вправо, а зусилля на штоку 7 через передаточні ланки: муфту 5 передається на повзун 10, зажим 11 і кулачки 4 переміщуються вгору до контакту з заготовкою. При скиданні повітря і його подачі в верхню порожнину пневмокамери відбувається розкріплення оброблюваної заготовки через важіль 8, який здійснює рух по дузі навколо осі 9, в результаті чого відбувається переміщення кулачків вниз.

Пристрій необхідно зберігати на дерев'яній основі. Вплив атмосферних опадів і агресивних середовищ неприпустимий.

Розрахунок на міцність.

Розраховуємо на міцність різьби штока. З конструктивних міркувань і попереднього компонуванні пристрою приймемо різьбу на штоку M12x1,75-6g. Сила на штоку $W = 7618$ Н, матеріал гвинта - Сталь 40 ГОСТ 1050-88.

Внутрішній діаметр різьби розраховується за формулою:

$$d_{\text{в}} = d_{\text{н}} - (0,541 \cdot P) \cdot 2 \quad (2.10)$$

де d_n – зовнішній діаметр різьби;

P – шаг різьби.

Отже, за формулою 2.10 знаходимо внутрішній діаметр різьби:

$$d_b = 24 - 0,541 \cdot 3 \cdot 2 = 20,9065 \text{ мм.}$$

Мінімальна площа поперечного перерізу різьби розраховується за формулою:

$$S_{\text{min різ}} = \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} \quad (2.11)$$

де d_b – внутрішній діаметр різьби.

$$S_{\text{min різ}} = \frac{\pi \cdot 20,9065^2}{4} = 180,22 \text{ мм}^2.$$

Границя текучості для сталі 40 дорівнює 300 МПа.

Допустимі напруження розтягування визначається за формулою:

$$[\sigma_P] = 0,5 \cdot \sigma_T \quad (2.12)$$

Тобто:

$$\sigma_P = 0,5 \cdot 300 = 150 \text{ МПа.}$$

Запишемо умову міцності на розтягнення:

$$\sigma_P = \frac{W}{S_{\text{min різ}}} \leq \sigma_P \quad (2.13)$$

Отже, за формулою 2.13 знаходимо напруження розтягування:

$$\sigma_p = \frac{18020}{180,22} = 100 < 150 \text{ МПа.}$$

Отже міцність штока забезпечується, так як міцність забезпечується навіть в його мінімальному перерізі (на різьбовій ділянці).

2.11 Висновки

Таким чином у розділі удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі корпус у якості заготовки була прийнята ковка на пресах, так як вона більш економічно вигідна, ніж вільна ковка.

Під час виконання роботи було проаналізовано заводський технологічний процес виготовлення деталі та внесено зміни спрямовані на його вдосконалення, а саме змінена послідовність операцій, замінено універсальне устаткування на обладнання з ЧПК.

Виконано аналіз схем базування та закруплення заготовки на операціях із визначенням похибок базування. Розраховано припуски аналітичним способом на найбільш точну поверхню, призначенні верстати, оснащення, режими різання та виконано технічне нормування операцій.

Спроектований верстатний пристрій для токарної із ЧПК операції з пневматичним приводом, що дозволяє скоротити допоміжний час та підвищити надійність процесу. Також на основі розрахунків виконано комплект технологічної документації.

РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Тема: «Теоретичні дослідження можливості управління параметрами зони контакту круга з деталлю шляхом попереднього нахилу осі обертання нахилу осі шпинделя».

Відомо, що значна кількість виробів у машинобудуванні та інших галузях виробництва потребує технологічних операцій плоского шліфування. Близько 20% деталей машинобудування мають плоскі поверхні і значна їх кількість підлягає остаточній обробці на плоскошліфувальних верстатах. При цьому, як і раніше, важливу роль продовжує відігравати багатомісна обробка, яка дозволяє суттєво підвищити показники продуктивності та точності обробки виробів. Традиційно в умовах виробництва переважно використовується плоске шліфування периферійними кругами. Лінійний характер контакту в зоні різання зумовлює високі питомі навантаження на абразивні зерна і тим самим сприяє інтенсифікації процесу їх самозаточування при значних величинах питомої витрати абразивно-алмазних матеріалів. Схема плоского шліфування торцевими алмазно-абразивними кругами займає особливе місце і може бути реалізована на верстатах з вертикальним та горизонтальним шпинделем з використанням як прямокутних, так і обертових столів. Наприклад, значна кількість торцевих кругів використовується і на заточувальних верстатах, які широко застосовуються в промисловості. Плоске торцеве шліфування має кращі показники в плані шорсткості оброблювальної поверхні, а також її макрогеометрії. Як відомо, особливістю процесів шліфування є високий рівень температур у зоні різання, що негативно позначається на якості обробки й потребує обмеження режимів (тобто зниження продуктивності) обробки. На жаль, це особливо стосується плоского торцевого шліфування, яке характеризується найбільшими значеннями дуги контакту з поверхнею деталі, а отже, і площі обробки. Це викликає утворення на шліфованих поверхнях припиків, мікротріщин, а в поверхневому шарі деталі – структурних перетворень і значних залишкових напружень розтягу, які, як правило, є несприятливими. Для багатьох деталей наявність шліфувальних дефектів може бути причиною їхніх втомних руйнувань.

Звісно, що оптимізація плоского торцевого шліфування повинна йти шляхом удосконалення факторів, що впливають на зниження його теплонапруженості. На сьогоднішній день снує багато факторів, за допомогою яких можна керувати тепловою напруженістю процесу шліфування. Це насамперед управління площею контакту круга з деталлю за рахунок попереднього нахилу осі обертання шпинделя, покращення умов охолодження зони обробки технологічною рідиною (ТР), творення механічних коливань у зоні обробки, правка різальної поверхні круга (РПК) правлячими олівцями на основі синтетичного полікристалічного алмазу (СПА) та інше. Але стосовно процесу, що розглядається, ці питання розроблені недостатньо, що значною мірою стримує ступінь його використання. Тому завдання підвищення ефективності процесу плоского торцевого шліфування за рахунок управління параметрами зони контакту круга з деталлю (тобто шляхом вдосконалення факторів, що впливають на зниження його теплонапруженості) являє собою актуальну наукову й практичну задачу.

Метою дослідження є удосконалення процесу плоского торцевого шліфування за рахунок управління параметрами зони контакту різальної поверхні круга з деталлю.

Об'єкт дослідження – процес плоского торцевого шліфування різних матеріалів алмазно-абразивними кругами.

Предмет дослідження – управління параметрами зони контакту РПК з деталлю.

Методи дослідження. Робота виконана з використанням сучасних положень теорії обробки матеріалів різанням. Для виявлення геометричних особливостей контакту РПК з деталлю в умовах процесу плоского торцевого шліфування з попереднім нахилом осі обертання шпинделя та встановлення залежностей для їх розрахунків використовували класичні положення аналітичної геометрії та геометричне комп'ютерне моделювання в середовищі КОМПАС. Для дослідження напружено - деформованого стану (НДС) систем «металева покриття-СПА-металофаза» (пайка алмазних полікристалів у державці олівця) та «алмазне зерно-

зв'язка круга-ОМ» стосовно процесу вібраційного алмазного шліфування використовувалася концепція 3D-моделювання.

3.1. Особливості й основні схеми плоского торцевого шліфування

Відомо, що значна кількість виробів у машинобудуванні та інших галузях виробництва потребує технологічних операцій плоского шліфування. Перспективність даного виду робіт підтверджується тим, що в даний час близько 20% деталей машинобудування мають плоскі поверхні, а значна їх кількість підлягає остаточній обробці на плоскошліфувальних верстатах. При цьому, як і раніше, важливу роль продовжує відігравати багатомісна обробка, що дозволяє суттєво підвищити показники продуктивності та точності обробки виробів. Поверхні можна шліфувати як периферією, так і торцем круга на плоскошліфувальних верстатах з поздовжнім або круговим (обертальним) рухами столу. Традиційно використовуються переважно периферійні абразивні або алмазні круги. Лінійний характер контакту в зоні різання зумовлює високі питомі навантаження і тим самим сприяє інтенсифікації процесу самозаточування при значних величинах питомої витрати абразивно-алмазних матеріалів. При обробці крихких матеріалів це призводить до підвищеного рівня браку через появу відколів, розтріскування і т. ін. Серед схем плоского шліфування особливе місце займає торцеве шліфування, яке може бути реалізоване на верстатах з горизонтальним та вертикальним розташуванням шпинделя з використанням як обертових, так і прямокутних столів [30]. Особливу групу складають заточувальні верстати, які широко використовуються в промисловості. Уже є достатня кількість публікацій, які підтверджують ефективність плоского торцевого шліфування стосовно обробки крихких матеріалів (наприклад, виробів з кераміки, надтвердих полікристалів і т. ін.) у порівнянні з процесами, заснованими на використанні периферійних кругів. Серед основних переваг такого процесу стосовно верстатів з вертикальним розташуванням шпинделя [2], виділимо ті з них, які особливо важливі щодо вирішуваних завдань: зменшення відсотка браку через сколювання й розтріскування (особливо при обробці крихких ма-

теріалів) за рахунок рівномірного розподілу тиску в зоні контакту РПК із заготовкою [41], [30]; можливість багатомісної паралельної обробки заготовок та спрощення процесу їх закріплення (наприклад, шляхом використання сепараторів [14]); екологічний аспект і т. ін. Щодо останнього випадку, то мається на увазі те, що при використанні верстатів з вертикальним шпинделем із застосуванням спеціальних ванн є можливість не тільки значного зниження інтенсивності розбризкування ТР, а й спрощення реалізації заходів щодо захисту працюючого персоналу [14]. Зазначимо, що поняття «технологічна рідина» використовується нами з тих міркувань, що в порівнянні з поняттям «мастильне-охолоджувальне технологічне середовище» він має більш широке значення, оскільки в якості ТР може використовуватися, наприклад, електроліт, який додатково виконує функцію провідника електричного струму. Основні схеми плоского торцевого шліфування наведені на рисунках 3.1 та 3.2 [32], [40].

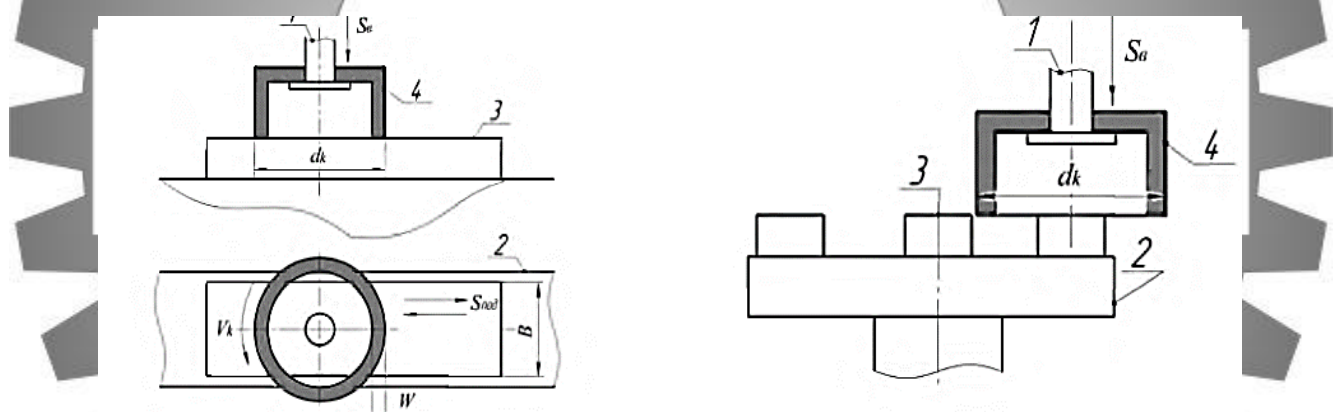


Рисунок 3.1 – Основні схеми плоского торцевого шліфування [32]:

1 - шпиндель; 2 - стіл верстата; 3 - заготовка; 4 - шліфувальний круг.

Плоскошліфувальні верстати можуть працювати за принципом поздовжньо-стругальних (рис. 3.1 а) або карусельних (рисунки 3.1 б та 3.2 а) верстатів. В останньому випадку в роботі можуть брати участь один (рис. 3.2, а) або декілька шліфувальних кругів (рис. 3.2 б). Головний рух здійснює шліфувальний круг, який обертається зі швидкістю V . Існують пристрої для реалізації планетарної схеми обробки [41], [42], (рис. 3.2 в.), а також у деяких випадках знаходять використання двосторонні верстати (рис. 3.2 г), на яких можна одночасно обробляти

поверхні деталі одразу з обох боків [32], [7]. Наприклад, відома фірма США випускає шліфувальні верстати, які з високою ефективністю реалізують таку схему плоского торцевого шліфування [15] (рис. 3.3). Цей вид обробки особливо ефективний, наприклад, при шліфуванні тонкостінних деталей [31], оскільки дозволяє реалізувати принцип урівноваження сил при обробці.

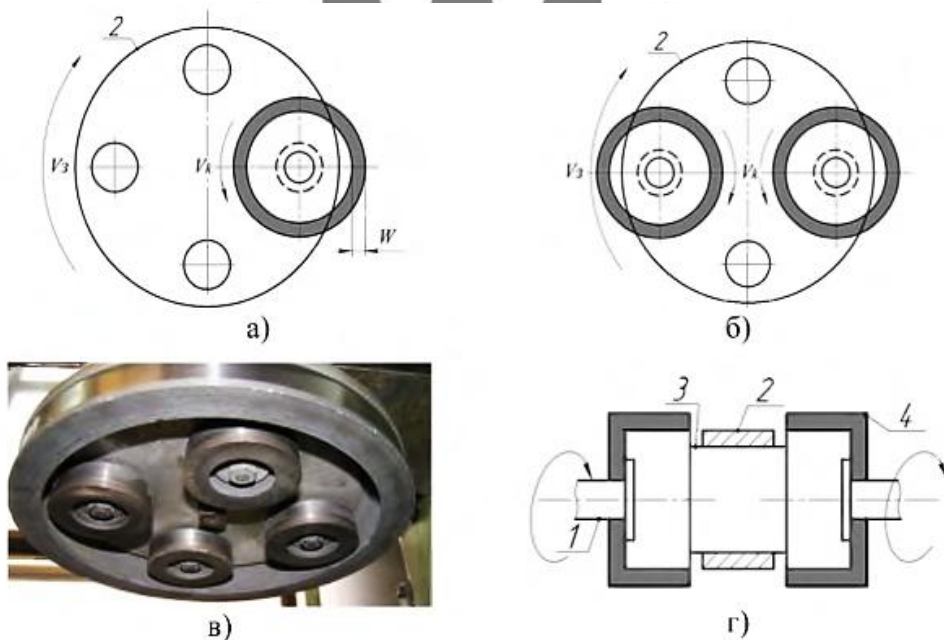


Рисунок 3.2— Різновиди схем плоского торцевого шліфування [32]:

1 - шпиндель; 2 - пристосування; 3 - заготовка; 4 - шліфувальний круг.

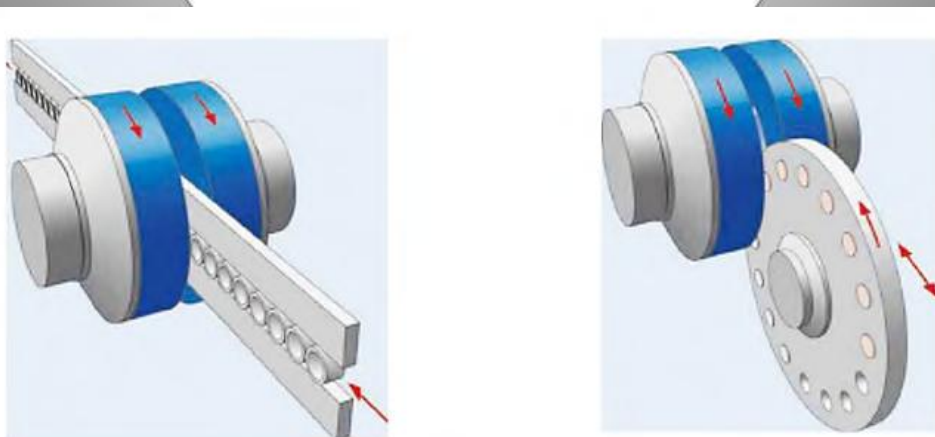


Рисунок 3.3 – Схеми використання процесу плоского торцевого шліфування здвоєними шліфувальними кругами [15]

Процес плоского торцевого шліфування з прямокутним чи обертальним столами може бути реалізований за декількома схемами. Якщо діаметр круга пе-

ревищує ширину деталі B , то найбільш ефективною схемою слід вважати схему обробки «на прохід». Ця схема особливо ефективна для шліфування плоских поверхонь в умовах масового й великосерійного типів виробництв. У цьому випадку використовуються два різновиди подач — поздовжня та вертикальна (на глибину обробки).

3.2. Методика визначення параметрів зони контакту різальної поверхні круга з деталлю в умовах попереднього нахилу осі шпинделя

Оскільки ось обертання шпинделя плоскошліфувального верстата має попередній нахил на кут α , то проекції шліфованого круга на основну та профільну площини уявляють собою еліпси, тобто криві другого порядку [47]. Тому для отримання аналітичних залежностей параметрів зони контакту РПК з деталлю було використано методи аналітичної геометрії які широко застосовуються спеціалістами в області різних наук. Паралельно з цим була проведена серія комп'ютерних експериментів у середовищі КОМПАС [41], [18]. Це дозволило, по-перше, здійснити візуалізацію даних, по-друге, підтвердити достовірність результатів аналітичних розрахунків [23], [37], [41], а, по третє, отримати як аналітичні, так і ступеневі залежності для розрахунку параметрів зони контакту РПК з деталлю, що спрощую роботу технолога при розробці операцій плоского торцевого шліфування. В обох випадках було застосовано чисто геометричний підхід. Він полягав в наступному.

– Вважалося, що глибина різання не впливає на формування профілю деталі, з одного боку, і не враховувався можливий впливу явищ, пов'язаних з проявом дії фізичного чинника (наприклад, пружне відновлення і т.д.), з іншого [44].

– Діаметр круга не змінюється по мірі його зносу. Цю вимогу можна реалізувати на практиці за умови, коли у якості шліфувального круга використовується, наприклад, чашка циліндрична.

– На РПК практично не має площадки зносу (що на практиці забезпечується регулярною правкою круга, наприклад, алмазним олівцем).

– Жорсткість технологічної системи висока, що реально має місце при обробці на верстатах з вертикальним шпинделем.

– Застосовувалися абразивні круги із суцільною робочою поверхнею. Це давало змогу реалізувати крайній випадок, коли площа контакту РПК з деталлю є максимальною.

– При розрахунках параметрів (в тому числі і площі контакту РПК з деталлю) маються на увазі їх номінальні значення.

– Прийнято до уваги, що довжина дуги контакту РПК з деталлю залежить головним чином від радіуса круга і ширини поверхні, що шліфується. Швидкість поздовжньої подачі, зважаючи на її невелику величину в порівнянні з окружною швидкістю круга, впливає на довжину дуги контакту незначно [73]. На наш погляд по своїй суті геометричне комп'ютерне моделювання [51] можна вважати експериментом на грані теоретичного дослідження і навпаки. Його можна спланувати таким чином, щоб отримати змогу шляхом математичної обробки результатів експерименту методом найменших квадратів вивести емпіричні залежності. Встановлено, що для цього добре підходять ступеневі залежності, які досить наглядно свідчать не тільки про характер, але і про ступень впливу умов обробки на параметр, що досліджується. В деяких випадках це більш вигідно відрізняє їх від аналітичних залежностей, особливо складних. В нашому випадку ступеневі залежності, пов'язані з визначенням параметрів зони контакту РПК з деталлю, мають право на існування нарівні з аналітичними бо вони є дуже зручними для технологів.

На рисунку 3.3 наведено фрагмент, який стосується визначення параметрів зони контакту РПК з деталлю для конкретних умов.

Особливістю є те, що еліпс, який є проекцією окружності діаметром $d_k=150$ мм, яка нахилена під кутом α (рис. 3.3 а, б), на горизонтальну площину (вид В) мало чим відрізняється від окружності чого не можна сказати про профільну проекцію (рис. 3.3 в). Його більша піввісь дорівнює радіусу круга ($2a = d_k$), а різниця між меншою та більшою півосями незначна. В нашому випадку $b = a \cdot \cos \alpha = 149,98$ мм, тобто різниця не перевищує 0,5 %. Для вказаних умов рисунка 3.3 у

контакті з деталлю приймає участь тільки частина ($\sim 33\%$) ширини РПК ($W'=6,55$ мм, рис. 3.3 а).

Ширину B' та довжину L дуги контакту РПК з деталлю зручно визначати на горизонтальній проекції (вид В, рис. 3.3 б). В нашому випадку вони дорівнюють 61,30 мм та 63,16 мм відповідно. Увігнутість A та висоту залишкових гребінців H (при багатопрохідній обробці) визначали на профільній проекції (вид Б, рис. 3.3 в). Наприклад, поточне значення увігнутості дорівнює глибині обробки, а сумарне, коли РПК буде повністю в контакті з деталлю (по всій ширині $B=250$ мм), $A=0,15$ мм.

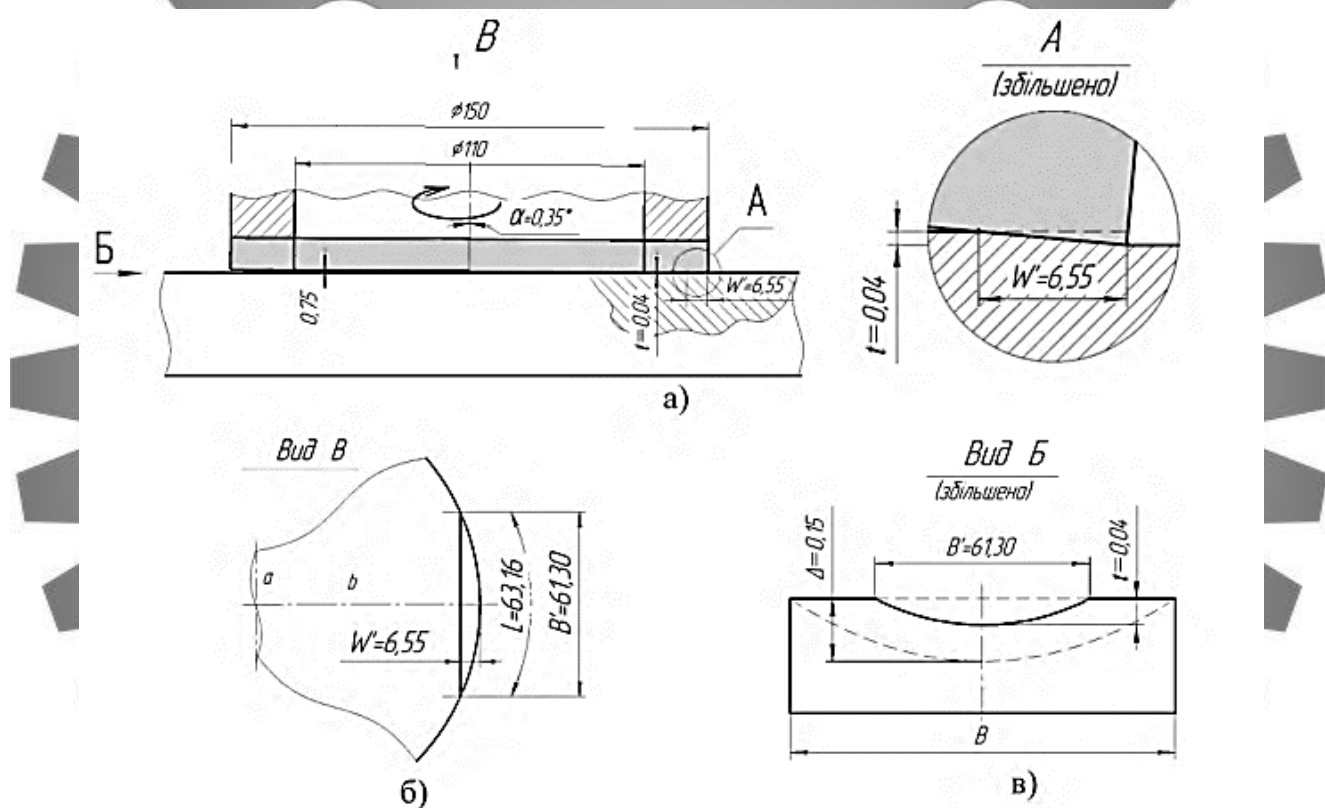


Рисунок 3.3 – Приклад і результати моделювання

Для визначення площі контакту РПК з деталлю використовували комп'ютерне 3D моделювання (рисунки 3.4 - 3.6).

Основною задачею було отримання дослідної моделі та з її допомогою визначити шукані параметри. Побудова моделі починається з основи – першого формоутворюючого елемента. У нашому випадку це частина поверхні деталі, що умовно оброблюється. Для отримання таких даних як площа контакту круга з де-

таллю, довжина дуги контакту та інше створюємо ефект обробки поверхні заданої деталі. Для цього у середній площині нашої заздалегідь створеної деталі будемо ескіз (рис. 3.4 а), що імітує переріз тієї частини шліфувального круга, що виконує шліфування в даний момент в даному місці. За допомогою операції «Вирізати обертанням» видаляємо ту частину поверхні деталі, яку обробив круг (рис. 3.4 б). За допомогою інструментальної панелі «Вимірювання» можна виконати різноманітні вимірювання, в тому складі і площу (рис. 3.5).

На рисунку 3.6 наведено фрагмент 3D-моделі зони контакту РПК з деталлю і результат вимірювання її площі.

Загальними умовами експерименту було наступне: $d_k = d_{кр.зов} = 400$ мм; $t = 0,05$ мм; $\alpha = 1^\circ$. Було прийняте допущення, що внутрішній діаметр круга є таким, що виконується умова: $W' < W$. Тут параметр W уявляє собою ширину РПК ($W = \frac{d_k - d_{min}}{2}$), а $d_{кр.вн} = d_{min}$

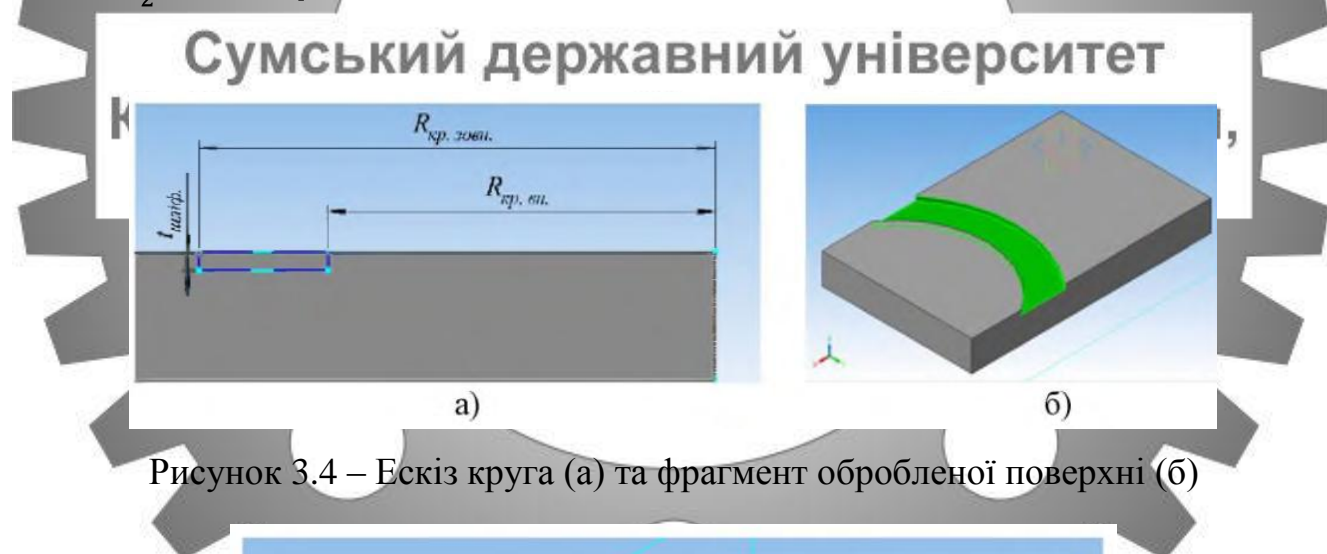


Рисунок 3.4 – Ескіз круга (а) та фрагмент обробленої поверхні (б)

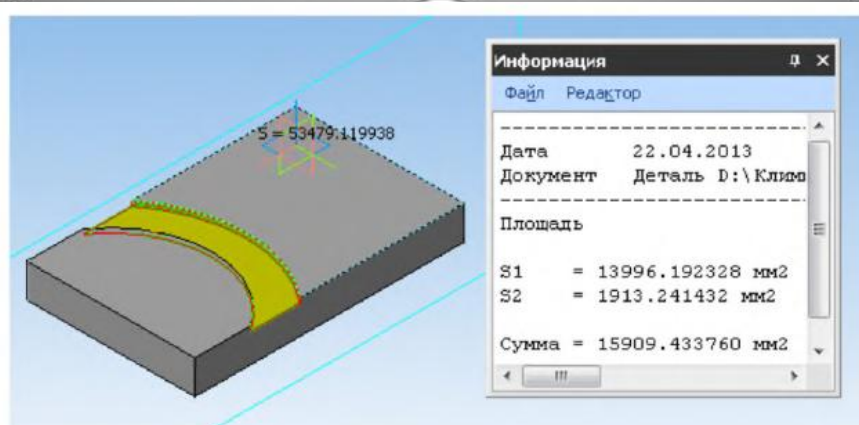


Рисунок 3.5 – До визначення площі контакту РПК з деталлю

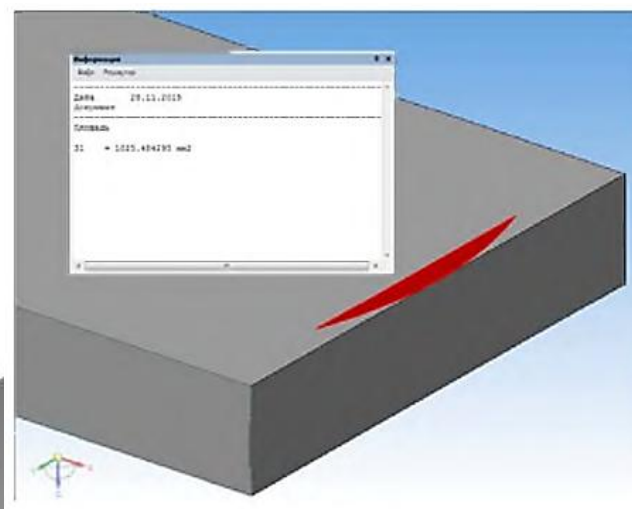


Рисунок 3.6 – Фрагмент вимірювання площі при $i=0,01$ мм

3.3. Методика математичної обробки результатів експериментальних досліджень

Ця методика з метою математичного виразу спостережуваних закономірностей є предметом спеціальної галузі математики [19]. Численні дослідження показали, що взаємозв'язок різних величин, що впливають на процес різання металів, може досить точно виражатися емпіричної залежністю, яка описується ступеневою функцією виду: $Y = A \cdot X^m$. Найпростіший графоаналітичний метод обробки результатів експериментів, є застарілим засобом бо на практиці займає багато часу і має недостатню точність отриманих результатів по причині суб'єктивності у проведенні прямої, яка рівновіддалена від усіх нанесених дослідних точок. Аналітичні методи дозволяють, маючи значення експериментальних точок і загальне рівняння залежності, більш об'єктивно знайти коефіцієнти цього рівняння виходячи з умови найбільшої відповідності всім дослідним точкам. Одним з таких методів є метод найменших квадратів. Однак його використання потребує розробки спеціальних програм. Компромісним варіантом на наш погляд є використання програми Microsoft Office Excel [29], яка є додатком до Microsoft Office. Ця програма має графічні інструменти, пропонує досліднику ряд видів досліджуваної залежності і дозволяє оцінювати ступінь її відповідності експериментальним даним з використанням методу найменших квадратів.

Допустимо, що шукана функція має вид: $Y = A_{min} \cdot X^m \cdot Z^n$. Тоді, маючи одномірні залежності, наприклад, $Y = A_1 \cdot X^m$ та $Y = A_2 \cdot Z^n$, можна визначити загальну постійну A_{min} [49]:

$$A_{min} = \frac{A_m + A_n}{2}$$

Часні постійні A_m та A_n визначаються як:

$$A_m = \frac{A_1}{Z^n}; A_n = \frac{A_2}{X^m}$$

В останніх виразах значення факторів X та Z повинні відповідати їх постійним для даного експерименту значенням. Кожен параметр зони контакту РПК з деталлю вимірювався не менше трьох разів з наступною оцінкою грубих похибок за методом Греббса [58]. Приклад використання методики: Треба встановити функціональну залежність $W' = f(t, \alpha)$, тобто взаємозв'язок довжини W' зони контакту РПК з деталлю з кутом α попереднього нахилу осі обертання шпинделя та глибиною t шліфування. Для цього провели комп'ютерний геометричний експеримент за традиційними рекомендаціями [159]. Згідно з ними спочатку проводилася серія експериментів зі зміною кута при постійному значенні глибини, потім навпаки. Ці дані наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Дані експерименту і порівняльні дані щодо різних методів визначення параметрів

$\alpha, ^\circ$	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	1,0	1,5	2,75
$t, \text{мм}$	0,01	0,03	0,06	0,1	0,06	0,06	0,06	0,06
$W'_{\text{км}}, \text{мм}$	0,38	1,15	2,29	3,80	6,88	3,44	2,29	1,25
$W'_A, \text{мм}$	0,38	1,15	2,29	3,82	6,88	3,44	2,29	1,25
$W'_C, \text{мм}$	0,38	1,15	2,29	3,820	6,87	3,44	2,29	1,25

* W'_{KM} , W'_A , W'_C , - довжини зони контакту РПК з деталлю, отримані шляхом комп'ютерного моделювання, аналітичних розрахунків та розрахунків за ступеневими залежностями відповідно.

Маючи дані експерименту, будемо в Excel графіки ступеневих залежностей $W'_C = f(t)$ (а) та $W'_C = f(\alpha)$ (б), які показано на рис. 3.7.

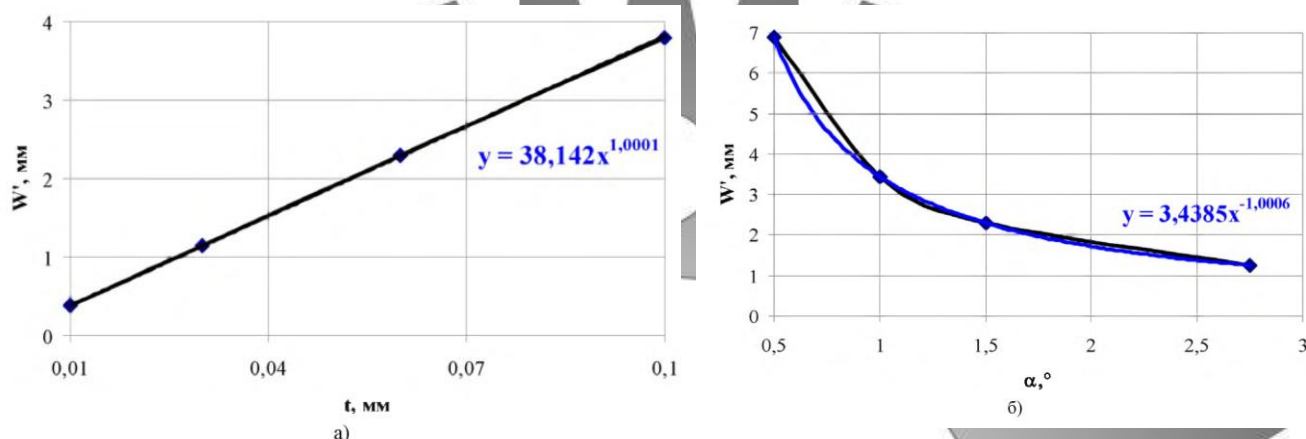


Рисунок 3.7 – Приклад реалізації методики обробки даних експерименту

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування
верстатів та інструментів

Для цього треба скористатися командою «Майстер діаграм». Приватні (однорічні) залежності, які відображують вплив одного фактора, у готовому вигляді пропонує програма Excel (для цього існує команда «Формат лінії трейда»). В нашому випадку вони мають вигляд:

$$W'_C = 38,14 \cdot t^1 \text{ та } W'_C = 3,44 \cdot \alpha^1.$$

Тобто $A_1=38,14$, а $A_1 = 3,44$.

Визначаємо часні постійні [29]:

$$C_t = \frac{38,14}{\alpha^{-1}} = \frac{38,14}{1,5^{-1}} = 57,21; C_\alpha = \frac{3,44}{t^1} = \frac{3,44}{0,06^1} = 57,33.$$

Тоді загальна постійна буде дорівнювати [50]:

$$C_{W'} = \frac{C_t + C_a}{2} = \frac{57,21 + 57,33}{2} = 57,30.$$

Отримуємо остаточний вид шуканої функціональної залежності:

$$W'_c = 57,3 \cdot t \cdot a^{-1}.$$

Порівняльні дані, наведені в таблиці 2.1, свідчать про те, що значення довжини W'_c зони контакту РПК з деталлю, отримані з використанням ступеневої залежності, достатньо точно співпадають як з результатами експериментів (W'_{KM}), так і даними (W'_A) аналітичних розрахунків (похибка не перевищує 1 %).

3.4 Методологія 3D-комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану систем «синтетичний полікристалічний алмаз-металофаза-металевоє покриття» та «алмазне зерно-зв'язка круга-оброблювальний матеріал»

Відомо, що серед чисельних методів розрахунку найбільшого поширення набув МСЕ. На його основі розроблені і в даний час ефективно використовуються стосовно вивчення процесів механічної обробки цілий ряд пакетів програм, які мають широкі можливості. Серед них слід виділити такі пакети як ANSYS і «Cosmos». У даній роботі використовувався пакет типу «Cosmos», який дозволяв в 3D-вимірюванні розраховувати поля наведених і головних напружень, енергію і щільність енергії деформації, температурні поля, а також поля термосилових напруг. Це істотно наближає результати теоретичних розрахунків до реальності. В цілому це дозволяє з одного боку суттєво знизити витрати на проведення досліджень, а з другого – отримати фізичне пояснення явищ, що відбуваються в зоні обробки або при виготовленні алмазних олівців. Аналізуючи світові тенденції розвитку САПР, можна зробити висновки, що зараз спостерігається черговий якісний перехід в розвитку 3D-моделювання в напрямку єдиних інтегрованих рішень.

В нашому випадку використовувалась система комплексної автоматизації проектування та підготовки виробництва SolidWorks, інтерфейс якої показаний на рис. 3.8.

На шкалах результатів розрахунку умовно позначені наступні показники: Von Mises - наведені напруги, МПа; ENERGY – енергія деформації, SED - щільність енергії деформації; ESTRN - деформація; Princ_1 (2,3) - головні напруження.

В базову конфігурацію SolidWorks входить модуль експрес-аналізу міцності COSMOSXpress. COSMOSXpress є «полегшеною» версією пакету COSMOS/Works і виконаний у вигляді програми-помічника, що підказує користувачу послідовність дій, що необхідні для підготовки розрахункової моделі та проведення аналізу.

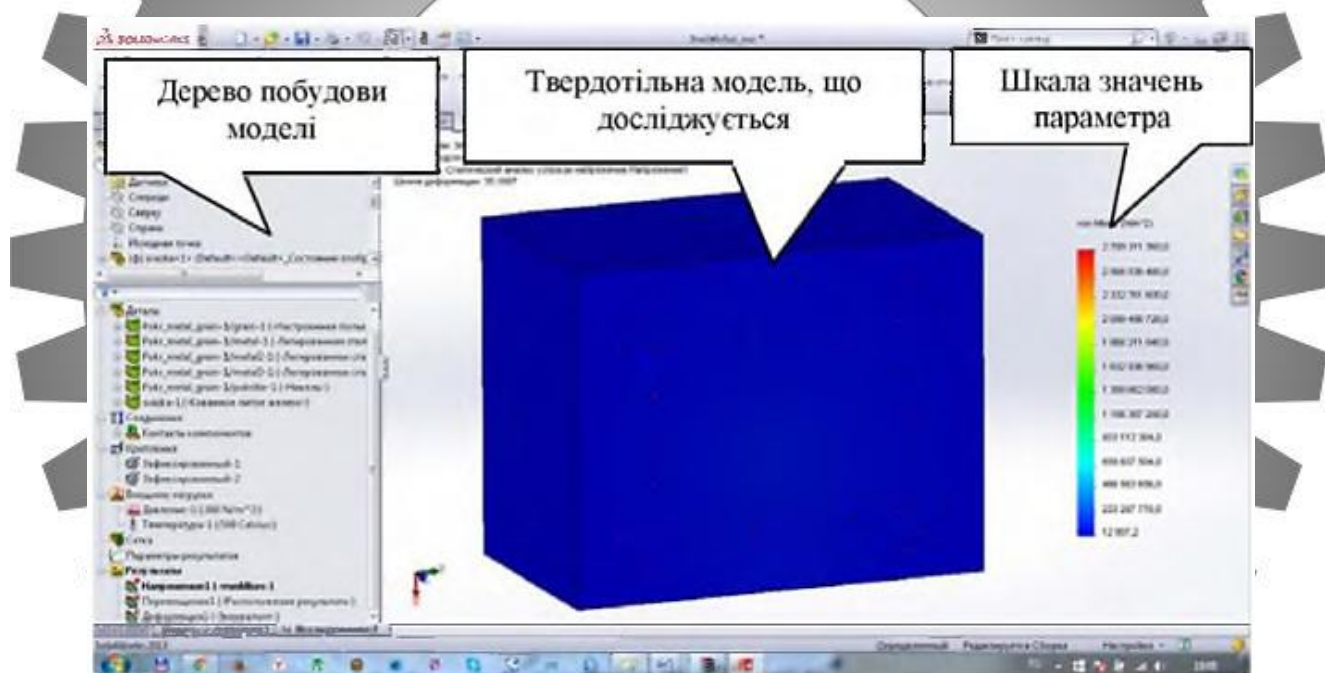


Рисунок 3.8 – Інтерфейс САПР SolidWorks

Інтерфейс для користувачів COSMOSXpress, як і SolidWorks, виконаний російською мовою, що є унікальним, бо цього немає в жодній імпортованій системі кінцево-елементного аналізу. Головною відмінністю SolidWorks 2013 від попередніх версій є інтегрування обчислювального комплексу ANSYS. Зараз імпортування моделі в ANSYS виконується без помилок. Це дозволяє скоротити час на подальше доопрацювання складної розрахункової моделі.

Як уже зазначалося, в основі всіх алгоритмів лежить МСЕ. Розрахунки за

цим методом дозволяють кількісно оцінити головні і наведені напруги, енергію деформації і щільність енергії деформації в досліджуваних елементах в залежності від їх розмірів, фізико-механічних властивостей і умов виготовлення (температура, тиск). Обсяги матеріалів вважалися зруйнованими, якщо наведені напруги і/або щільність енергії деформації в них перевищували відповідні граничні значення.

COSMOSWorks дозволяє визначати обсяги елементів із закритичними значеннями наведених напруг або закритичною енергією деформації. Для визначення обсягів зруйнованих СПА використовувалися силові критерії руйнування (еквівалентні напруги перевищують максимальні напруження розтягування СПА). Також COSMOSWorks дозволяє враховувати властивості анізотропії при розрахунках. Це є важливим аспектом, так як алмаз має виражену анізотропію таких властивостей, як пружність, щільність, міцність і т. д.

З метою отримання максимально достовірних результатів розрахунку обсягів зруйнованих СПА і алмазних зерен кінцево-елементна сітка згущувалася в міру наближення до досліджуваної зони. Кінцево-елементний аналіз проводився із застосуванням восьмивузлових елементів SolidWorks.

У розрахункову модель закладалися наступні характеристики матеріалів: модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, масова щільність матеріалу, коефіцієнт лінійного термічного розширення, теплопровідність матеріалу і його питома теплоємність та інші.

Методика 3D-комп'ютерного моделювання НДС систем «СПА-металофаза-металева покриття» при виготовленні алмазного олівця. Визначення умов, що забезпечують збереження цілісності СПА в алмазному олівці в умовах високотемпературного закріплення (наприклад, запаювання [38]) в державці здійснювалося на основі моделювання 3D НДС системи «СПА-металофаза-металева покриття». Наявність металевої фази в СПА моделювалося довільно орієнтованими прошарками в межах $K = 0,1 \div 10\%$. Моделювання процесу виготовлення алмазного олівця проходило в наступному порядку:

- створення моделі системи «СПА-металофаза-металеве покриття» при високотемпературній пайці алмаза в державці алмазного олівця;
- створення процесу термічного навантаження (оскільки сили навантаження у процесі пайки практично відсутні).

На рисунку 3.9 наведені фрагменти впливу процентного вмісту металофази в зерні на зміну еквівалентних напружень ($\sigma_{\text{екв}}$), що виникають в системі «металеве покриття-СПА-металофаза» при виготовленні алмазного олівця.

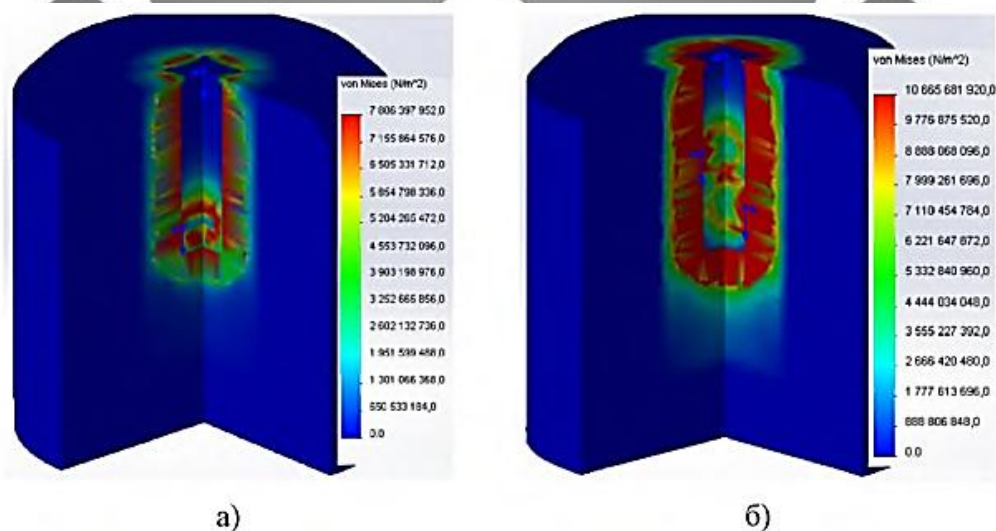


Рисунок 3.9 – Вплив процентного вмісту металофази в СПА на зміну $\sigma_{\text{екв}}$.

а) - 5 %; б) - 10 %

3.5 Дослідження впливу умов обробки на довжину зони контакту різальної поверхні круга з деталлю

Як зазначено вище, об'єктом дослідження був обраний процес плоского торцевого шліфування, який виконується на верстатах як з вертикальним, так і з горизонтальним розташуванням шпинделя. Звісно, що величина кута α пов'язана не тільки зі значенням зазора δ , а і з величиною діаметра круга d_k . Значення кутів α можна розрахувати в залежності від зазора δ при врахуванні діаметра круга. Результати цих розрахунків [46] стосовно величин δ , рекомендованих у літературі [40], [31], наведені на рисунку 3.10. Вони свідчать про те, що в діапазонах значень зазорів δ від 0,05 (рис. 3.10 а) до 2 мм (рис. 3.10 б) величина кута не перевищує один градус.

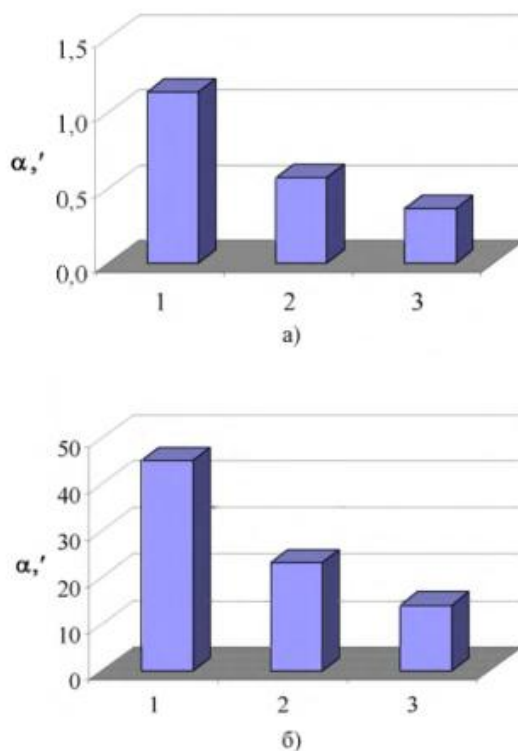


Рисунок 3.10 – Залежність кута нахилу α від діаметра круга:

1- $d_k = 150$ мм, 2- $d_k = 300$ мм, 3- $d_k = 500$ мм

Залежності $\alpha = f(d_k)$ при $\delta = \text{const}$ мають нелінійний, а залежності $\alpha = f(\delta)$ при $d_k = \text{const}$ лінійний характер, наведені на рис. 3.11. Отримані дані [49] не збігаються з рекомендаціями роботи [38], у якій пропонується кут нахилу приймати в діапазоні $\alpha = 2 \div 4^\circ$.

Таким чином, рекомендації відносно значень кутів (згідно літературних даних) щодо реалізації процесу торцевого шліфування з попереднім нахилом осі шпинделя свідчать про те, що їх діапазон треба переглянути хоча б з урахуванням впливу інших параметрів (наприклад, діаметра круга та глибини обробки).

Це дасть можливість розробити науково обґрунтовані рекомендації з удосконалення процесу шліфування на верстатах як з вертикальним, так і з горизонтальним розташуванням шпинделя (наприклад, стосовно заточувальних технологічних операцій). Параметри зони контакту круга з деталлю визначаються в основному трьома факторами, а саме: кутом нахилу круга α , глибиною шліфування t і діаметром круга d_k (рис. 3.12). У міру збільшення значення кута α при незмінній глибині різання і частина РПК, яка буде контактувати з деталлю, зменшується.

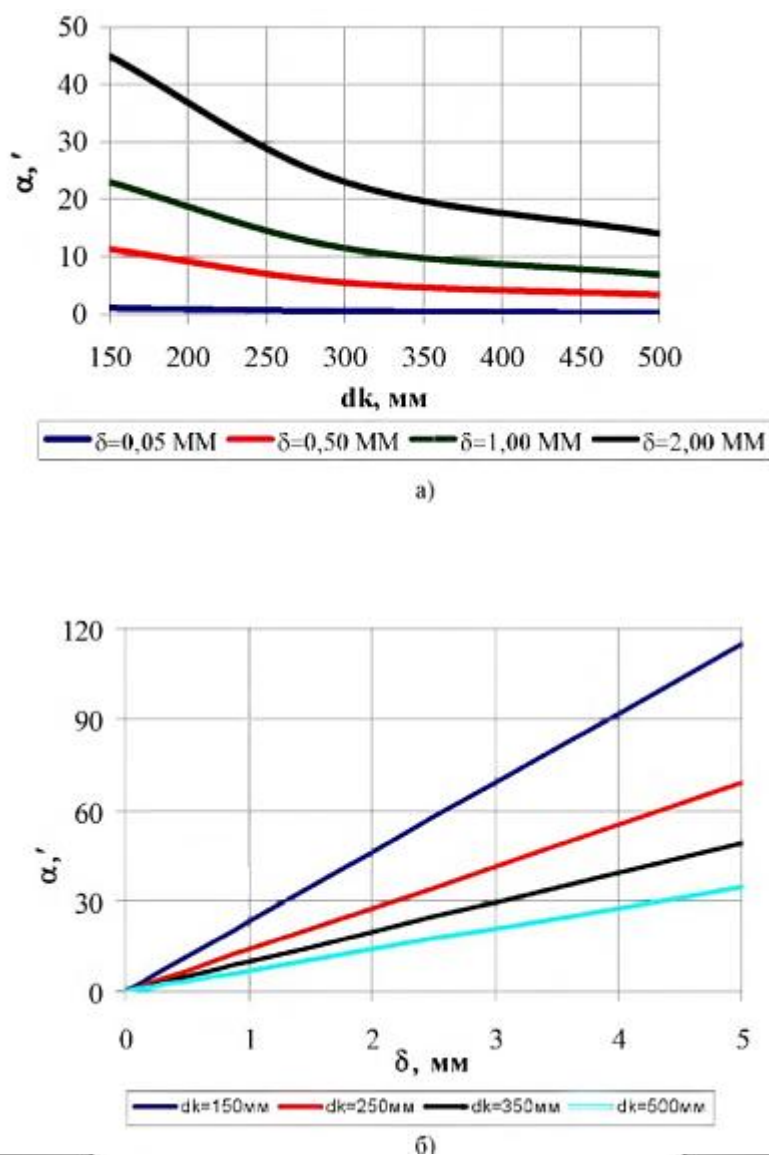


Рисунок 3.11 – Залежності $\alpha = f(d_k, \delta)$

Уведемо такий показник як довжина контакту РПК з деталлю (W'), який є важливою характеристикою глибинної схеми обробки. Як видно з рисунка 3.12 а, у міру зростання кута α ця довжина буде зменшуватися (при $t = \text{const}$) за законом:

$$W' = \frac{t}{\sin \alpha}. \quad (3.1)$$

При попередній обробці, коли значення кутів нахилу осі шпинделя лежать, наприклад, у діапазоні $1 \div 4^\circ$, у контакті з деталлю буде знаходитися тільки частина (W') ширини робочої поверхні круга (W). Так, згідно з формулою (3.1), у діапа-

зоні глибин $t = 0,01 \div 0,09$ мм $W' = 0,15 \div 5,17$ мм. Очевидне існування конкретних сполучень параметрів α , d_k та t , при яких за умови, що ширина оброблюваної поверхні деталі не менше діаметра круга ($B > d_k$), РПК буде повністю контактувати з деталлю. При цьому повинна виконуватися умова, що $W' = d_k$. При симетричному шліфуванні формула для визначення величини кута α , при якому буде мати місце повний контакт РПК з деталлю, має вигляд (рис. 3.12 б):

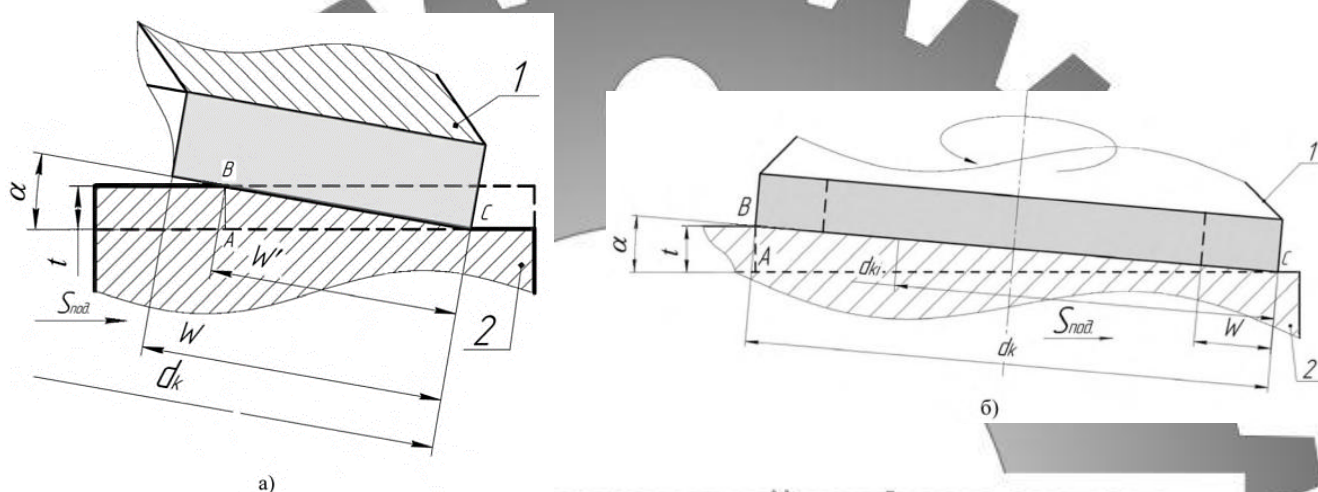


Рисунок 3.12 – Схеми, які ілюструють випадки часткового (а) або повного (б) контакту РПК з деталлю

$$\alpha = \arcsin \frac{AB}{BC} = \arcsin \frac{t}{d_k} \quad (3.2)$$

При звичайній (не глибинній) схемі шліфування повний контакт РПК з деталлю має місце при $\alpha=0$. Але при цьому основна маса припуску знімається тільки частиною РПК (на якій утворюється забірний конус [39]). Інша (торцева) частина РПК як би підчищає поверхню. При глибинній схемі шліфування, коли є занурення РПК в тіло деталі на глибину t , повний контакт РПК з поверхнею виробу може мати місце і при $\alpha > 0$. Графіки, представлені на рисунках 3.13 а, б, відповідають такому сполученню параметрів α , d_k та i , при яких РПК буде повністю контактувати з деталлю.

На відміну від звичайної схеми обробки РПК буде навантажена більш рів-

номірно, що позитивно відіб'ється, наприклад, на сталості макропрофілю круга. Як видно з наведених графіків та формули (3.2), чим більше глибина шліфування та менше діаметр круга, тим при більших значеннях кутів попереднього нахилу осі шпинделя буде мати місце повний контакт РПК з деталлю і навпаки. Значення кутів α , при яких реалізується схема повного контакту РПК з деталлю, дуже малі (від декількох до десятка хвилин, рис. 3.13). Тому можна зробити висновок, що різниця зон 2 та 3 характерних рисок на поверхні деталі чисто умовна. У разі необхідності роботи тільки однією частиною шліфувального торцевого круга (у межах ширини РПК, наприклад, при виконанні операцій заточування інструментів) теоретичний та практичний інтерес представляють залежності між частиною ширини V круга, кутом нахилу α та глибини обробки t .

На рисунку 3.13 наведено графіки зміни кута α нахилу РПК в залежності від довжини W' контакту РПК з деталлю. Вони свідчать про те, що для досягнення одного і того ж значення параметра W' (в залежності від глибини обробки) кути нахилу α можуть суттєво відрізнятися.

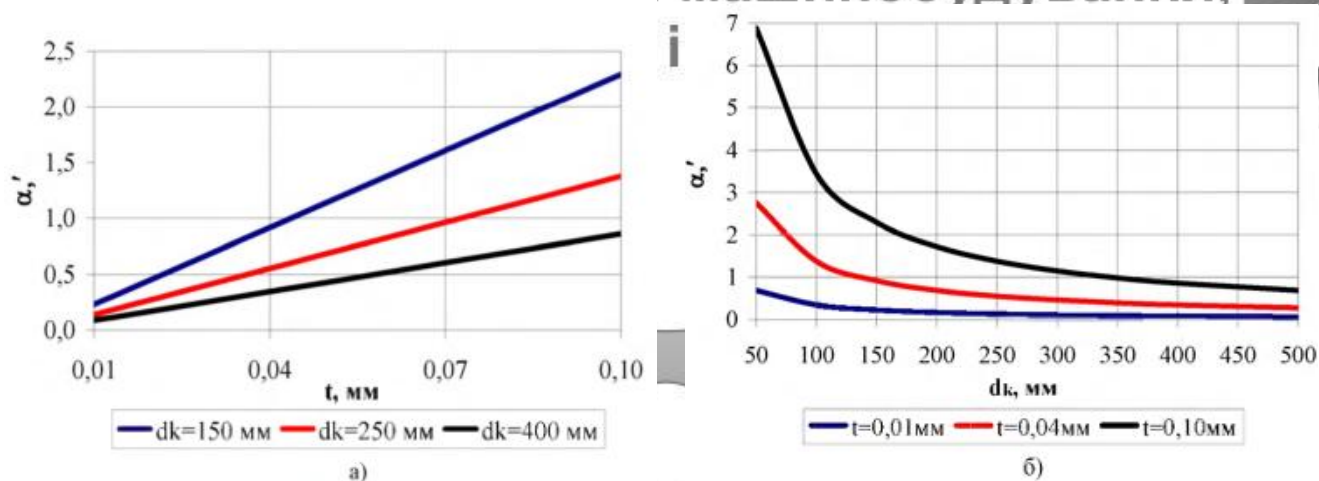


Рисунок 3.13 – Графіки залежностей $\alpha = f(t, d_k)$ для випадку повного контакту РПК з деталлю

Так, при використанні традиційних величин глибини шліфування ($t \leq 0,1$ мм), кути попереднього нахилу осі шпинделя не перевищують декілька градусів (рис. 3.13 а). У той же час при великих глибинах вони можуть складати десятки градусів (рис. 3.13 б). Таким чином, глибина шліфування є одним із визначальних

параметрів, значення якої разом з величиною кута α визначає довжину (W') контакту РПК з деталлю. Отримані дані свідчать про те, що функція $W' = f(\alpha)$ нелінійна, а функція $W' = f(t)$ лінійна.

Показовим є те, що за достатньо вузького діапазону значень кутів спостерігається найбільш різка залежність параметру W' . Як буде показано нижче, це відповідним чином відіб'ється й на площі контакту РПК з деталлю.

3.6 Теоретичні розрахунки площі контакту круга з деталлю при плоскому торцевому шліфуванні з нахилом осі шпинделя

Відомо, що шліфування торцем круга характеризується відносно великою величиною дуги контакту й поверхні взаємодії круга з деталлю, що й обумовлює високі температури в зоні шліфування. Тому площа контакту може бути прийнята як параметр для управління теплонапруженістю процесу шліфування. Одним із найбільш ефективних технологічних прийомів регулювання площі контакту РПК з деталлю є попередній нахил осі шпинделя верстата. Особливості формування плоских поверхонь при застосуванні схем обробки «на прохід» та в умовах багатопрохідного шліфування були детально розглянуті вище. У той же час аналіз літературних джерел інформації показав, що дані стосовно визначення площі контакту торцевого круга з деталлю в умовах попереднього нахилу осі шпинделя відсутні. А це не дозволяє технологу повною мірою використовувати переваги схеми обробки зі попереднім нахилом осі шпинделя. Таким чином, питання, пов'язані з встановленням впливу параметрів зони контакту торцевих кругів з деталлю на площу, є актуальними. Розглянемо детальніше основні можливі схеми контакту РПК з деталлю (рисунки 3.14 – 3.17).

Площа контакту РПК з деталлю залежить від ряду факторів [40]. До них у першу чергу треба віднести кут нахилу α , діаметр круга d_k і глибину обробки t , що визначають такі лінійні параметри зони контакту РПК з деталлю як довжина W' та ширина B' (рис. 3.14).

Цей рисунок являє собою вид «В» рисунка 3.7. За певних умов, як об-

межувальний фактор, можуть виступати, наприклад, ширина РПК, ширина деталі та схема обробки (симетрична, несиметрична).

Для визначення площі контакту РПК з деталлю приймемо допущення, що довжина контакту не перевищує ширину РПК, тобто $W' < W$, а $d_{min} < B < d_k$. У цьому випадку зона контакту являє собою частину круга, обмежену дугою FN і хордою FN, тобто сегмент. Як видно з рисунка, хорда $FN = B'$, а дуга $FN = L$.

Існують декілька способів визначення площі сегмента [45]. Скористаємося тим із них, який заснований на використанні даних, що вже були отримані в цьому розділі. Це ширина B' (B), довжина W' та довжина дуги L (L_{Δ}) зони контакту РПК з деталлю.

Розглядаючи площу сегменту $S_{\text{сегм.}}$ як частину площі сектора запишемо [45]:

$$S_{\text{сегм.}} = S_{\text{сект.}} - S_{\text{трик.}}$$

де $S_{\text{сект.}}$ – площа сектора OFN;
 $S_{\text{трик.}}$ – площа трикутника OFN.

Тоді на заставі рисунка 3.5 маємо [45], що:

$$S_{\text{сегм.}} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{d_k}{2} - \frac{1}{2} \cdot FN \cdot OK.$$

Або після перетворень:

$$S_{\text{сегм.}} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{d_k}{2} - B' \cdot \frac{d_k}{2} - W' \quad (3.3)$$

Параметри W' , B' та L , які входять до рівняння (3.3), розраховуються за виразом (3.1) відповідно.

Схема, що представлена на рисунку 3.17, справедлива як для випадку багатопрохідного шліфування, так і шліфування «на прохід», коли в міру збільшення числа проходів (при здійсненні вертикальної подачі) зберігається умова, що

$B' < B$. Але при цьому треба враховувати, що з моменту, коли круг повністю захоплює поверхню деталі по ширині (рис. 3.6), $B' = B$, а $L = L_{\Delta}$

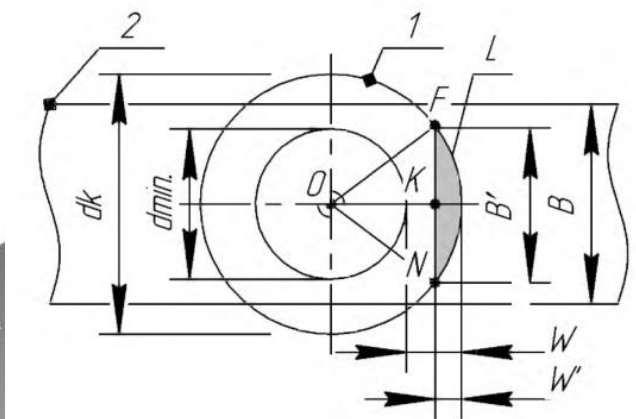


Рисунок 3.14 – Розрахункова схема для визначення площі контакту РПК (1) з деталлю (2) при умові, що $d_{min} \leq B \leq d_k$, $B' < B$, а $W' \leq W$.

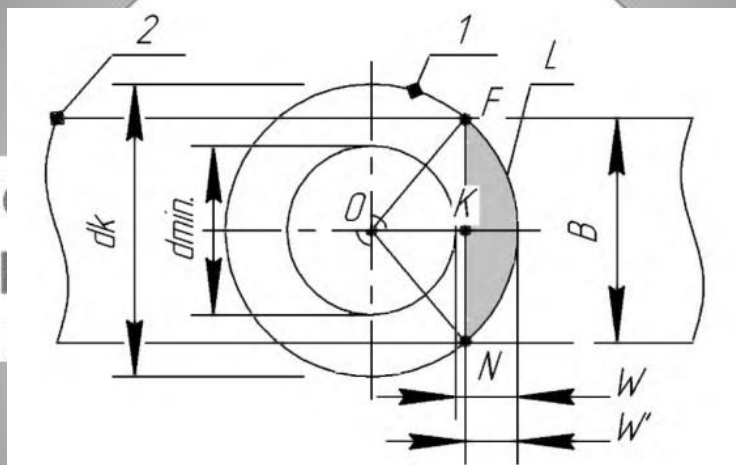


Рисунок 3.15 – Розрахункова схема для визначення площі контакту РПК (1) з деталлю (2) при $B' = B$.

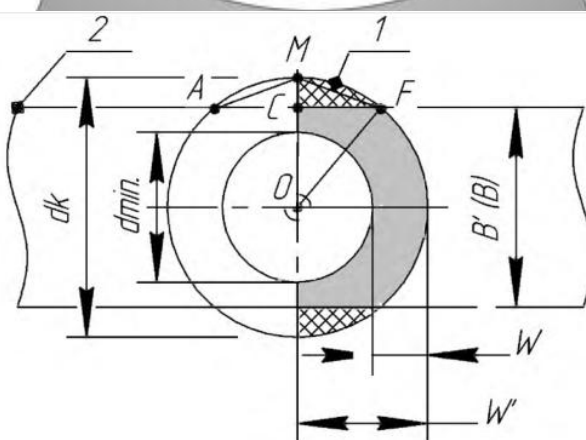


Рисунок 3.16 – Розрахункова схема для визначення площі контакту РПК (1) з деталлю (2) при умові, що $W' = 0,5 \cdot d_k$, $d_{min} \leq B$ ($B' < d_k$).

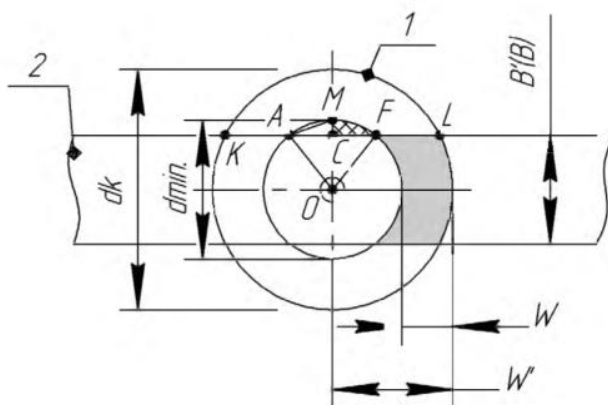


Рисунок 3.17 – Розрахункова схема для визначення площі контакту РПК (1) з деталлю (2) при умові, що $W' = 0,5 \cdot d_k$, а $B (B') < d_{min}$.

$$S_{\text{сегм.}} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{d_k}{2} - B' \cdot \frac{d_k}{2} - W' \quad (3.3)$$

Параметри W' , B' та L , які входять до рівняння (3.3), розраховуються за виразом (3.1) відповідно.

Схема, що представлена на рисунку 3.17, справедлива як для випадку багатопрохідного шліфування, так і шліфування «на прохід», коли в міру збільшення числа проходів (при здійсненні вертикальної подачі) зберігається умова, що $B' < B$. Але при цьому треба враховувати, що з моменту, коли круг повністю захоплює поверхню деталі по ширині (рис. 3.6), $B' = B$, а $L = L_{\Delta}$.

У випадку, коли $W < W' < (d_k - W)$, РПК може зазнати суттєвих змін. Справа в тому, що внутрішня кромка круга перестає бути захищеною і на ній буде утворюватися забірний конус, розмір якого залежатиме з одного боку, від умов обробки, а з другого — від частоти правки РПК, наприклад, алмазним олівцем. Зона контакту буде мати більш складний вигляд. Наприклад, на рисунку 3.17 показано проміжний варіант, коли

$$W' = \frac{d_k}{2}, \text{ а } d_{min} \leq B < d_k.$$

Площу контакту можна визначити як:

$$S_{зк.} = S_{кїл.} - S_{сегм.}$$

Площа зони контакту $S_{зк.}$ (затемнена) буде дорівнювати половині площі кільця ($S_{кїл.}$), за винятком площі двох напівсегментів (заштриховано), тобто одного повного сегмента ($S_{сегм.}$), який окреслений дугою АВ та хордою АВ.

Тоді можна записати, що:

$$S_{зк.} = \frac{\pi}{8} d_k^2 - d_{min}^2 - S_{сегм.} \quad (3.4)$$

Як було показано раніше, для визначення площі сегмента треба знати довжини дуги $L_{сегм.}$ та хорди АF. На заставі рисунку 3.7 маємо наступне вираження формули Гюйгенса для визначення $L_{сегм.}$

$$L_{сегм.} = AF = 2 \cdot AM \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot AM - AF) \quad (3.5)$$

Для визначення довжини дуги сегмента треба знати відрізки АМ та АF
З прямокутного трикутника АМС маємо, що:

$$AM = \sqrt{AC^2 + MC^2}. \quad (3.6)$$

Відрізок МС можна визначити як:

$$MC = \frac{d_k}{2} - \frac{B}{2}. \quad (3.7)$$

Скористаємося канонічним рівнянням кола:

$$X^2 + Y^2 = R^2.$$

У нашому випадку координати точки F дорівнюють:

$$X = AC = \frac{AF}{2}; Y = \frac{B}{2}; R = \frac{d_k}{2}.$$

Тоді канонічне рівняння кола можна записати як:

$$X^2 + \frac{B^2}{4} = \frac{d_k^2}{4}.$$

Звідси:

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів

Або:

$$AC = CF = X = \frac{d_k^2 - B^2}{4} = \frac{1}{2} \cdot \overline{d_k^2 - B^2}. \quad (3.8)$$

Після підстановки рівнянь (3.7) та (3.8) в формулу (3.6) маємо, що

$$AM = \frac{d_k^2}{4} - \frac{B^2}{4} + \left(\frac{d_k}{2} - \frac{B}{2}\right)^2 = \frac{d_k^2}{4} - \frac{B^2}{4} + \frac{d_k^2}{4} - \frac{1}{2} \cdot d_k \cdot B + \frac{B^2}{4}.$$

Розкриваючи рівняння маємо, що:

$$AM = \frac{d_k^2}{2} - \frac{1}{2} \cdot d_k \cdot B = \frac{1}{2} \cdot d_k \cdot (d_k - B).$$

Тоді на основі (3.5) можна записати, що довжина дуги сегмента буде дорівнювати:

$$L_{\text{сегм}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot d_k \cdot d_k - B} + \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot d_k \cdot d_k - B} - 2 \cdot X).$$

Або:

$$L_{\text{сегм}} = \sqrt{2 \cdot d_k \cdot (d_k - B)} + \frac{1}{3} \cdot (\sqrt{2 \cdot d_k \cdot (d_k - B)} - \frac{1}{3} \cdot (d_k^2 - B^2)).$$

У кінцевому результаті маємо, що:

$$L_{\text{сегм}} = \frac{4}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot d_k \cdot (d_k - B)} - \frac{1}{3} \cdot (d_k^2 - B^2).$$

Тоді вираз (3.4) матиме вигляд:

$$S_{\text{зк.}} = \frac{\pi}{8} \cdot d_k^2 - d_{\text{min}}^2 - \frac{1}{2} \cdot L_{\text{сегм.}} \cdot \frac{d_k}{2} - 2 \cdot X \cdot B.$$

Або:

$$S_{\text{зк.}} = \frac{\pi}{8} \cdot d_k^2 - d_{\text{min}}^2 - \frac{1}{2} \cdot L_{\text{сегм.}} \cdot \frac{d_k}{2} - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(d_k^2 - B^2)} \cdot \frac{B}{2}.$$

Остаточне рівняння матиме вигляд:

$$S_{\text{зк.}} = \frac{\pi}{8} \cdot d_k^2 - d_{\text{min}}^2 - \frac{1}{2} \cdot L_{\text{сегм.}} \cdot \frac{d_k}{2} - \sqrt{d_k^2 - B^2} \cdot \frac{B}{2}. \quad (3.9)$$

Треба мати на увазі, що формула (3.9) справедлива тільки для випадку, коли $W' = 0,5 \cdot d_k$, а $d_{min} < B (B') < d_k$.

У разі, коли ширина, деталі менша за внутрішній діаметр круга, у сегменті з дугою $KL = L_{сег}$, знаходиться «пустий» сегмент (рис. 3.21, заштриховано) з дугою $AF = L_{n.сег}$. Тому в рівнянні (3.9) треба враховувати площу «пустого» сегмента, яка визначається за рівнянням (3.3). Для її визначення треба знайти довжину дуги цього пустого сегмента:

$$L_{n.сегм} = AF = 2 \cdot AM + \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot AM - AF).$$

З трикутника АОС маємо, що:

$$AM^2 = AC^2 + MC^2.$$

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
Верстатів та інструментів

З рисунка 3.18 випливає, що:

$$AO = \frac{d_{min}}{2}; \quad OC = \frac{B}{2}; \quad MC = MO - CO = \frac{d_{min}}{2} - \frac{B}{2}.$$

Відрізок АС можна визначити як:

$$AC^2 = \frac{d_{min}^2}{4} - \frac{B^2}{4} = \frac{1}{4} \cdot (d_{min}^2 - B^2).$$

Звідси:

$$AC = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(d_{min}^2 - B^2)}.$$

Тоді можна записати, що:

$$AM^2 = \frac{d_{min}^2}{4} - \frac{B^2}{4} + \frac{d_{min}}{2} - \frac{B}{2}^2.$$

Розкриваючи останнє рівняння маємо:

$$AM = \frac{1}{2} \cdot (d_{min} - d_{min} \cdot B).$$

Визначаємо довжину дуги за умови, що $AF = 2 \cdot AC$:

$$L_{n.сегм.} = AF = 2 \cdot AM + \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot AM - AF.$$

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів

$$L_{n.сегм.} = 2 \cdot d_{min} - d_{min} \cdot B + \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot d_{min} - d_{min} \cdot B -$$

$$- \frac{1}{3} \cdot \overline{d_{min}^2 - B^2}).$$

Остаточно можна записати, що:

$$L_{n.сегм.} = \frac{4}{3} \cdot \overline{2 \cdot (d_{min}^2 - d_{min} \cdot B)} - \frac{1}{3} \cdot \overline{(d_{min}^2 - B^2)}. \quad (3.10)$$

Тоді площа «пустого» сегмента буде дорівнювати:

$$S_{n.сегм.} = \frac{1}{2} \cdot L_{n.сегм.} \cdot \frac{d_{min}}{2} - \overline{(d_{min}^2 - B^2)} \cdot \frac{B}{2}. \quad (3.11)$$

Тоді формула для визначення площі зони контакту РПК з деталлю буде мати вигляд:

$$S_{зк.} = \frac{\pi}{8} \cdot d_k^2 - d_{min}^2 - \frac{1}{2} \cdot L_{сегм.} \cdot \frac{d_k}{2} - \sqrt{(d_k^2 - B^2)} \cdot \frac{B}{2} + S_{n.сегм.}$$

Або з урахуванням (3.43) остаточно маємо:

$$S_{зк.} = \frac{\pi}{8} \cdot d_k^2 - d_{min}^2 - \frac{1}{2} \cdot L_{сегм.} \cdot \frac{d_k}{2} - \sqrt{d_k^2 - B^2} \cdot \frac{B}{2} + \frac{1}{2} \cdot L_{n.сегр.} \cdot \frac{d_{min}}{2} - \sqrt{(d_{min}^2 - B^2)} \cdot \frac{B}{2} \cdot K_{n.c} \quad (3.12)$$

Незважаючи на те, що для визначення довжин дуг сегментів була використана наближена формула Гюйгенса, похибка визначення площі контакту РПК з деталлю на перевищує 5% навіть для рівняння 3.12, в якому вона трапляється двічі. При малих значеннях ширини деталі рівняння може давати значні похибки. Але це не викликає особливих побоювань, бо, по-перше, при обробці деталей з малою шириною площа не є великою, а по-друге, такі деталі зазвичай оброблюються в пакетах і в цілому складають широкі деталі.

Таким чином, рівняння 3.12 є універсальним, тобто його можна використовувати для випадків, які наведено на рисунках 3.14-3.17, з урахуванням того, що в першому разі $K_{n.c} = 0$, а в другому $K_{n.c} = 1$.

Якщо використовується схема обробки «на прохід», коли при незмінних значеннях t та α довжина $W' = \text{const}$, а сам процес здійснюється без застосування поперечної подачі, площа $S_{прох.}$ на кожному проході буде різною завдяки збільшенню ширини B' та довжини дуги L зони контакту. Для визначення $S_{прох.}$ треба оперувати поняттям сумарної глибини обробки на проходах або величиною увігнутості Δ_i . У цьому випадку розраховують площі по одній з наведених вище формул, припускаючи, що глибина на кожному проході є величиною сумарною й до-

рівнює відповідному значенню увігнутості. На першому проході площа розраховується як звичайно (як при багатопрхідній обробці), а для подальших проходів як різницю між сумарною площею на даному проході й сумарною площею попереднього проходу:

$$S_{\text{прох.}i} = S_{\text{прох.}i} / t_{\Sigma} = \Delta_i / -S_{\text{прох.}i-1} / t_{\Sigma-1} = \Delta_{i-1} / . \quad (3.13)$$

Стосовно рисунка 3.18 можна записати, що:

$$S_{\text{прох.}1} = S_{\Delta 1}; S_{\text{прох.}2} = S_{\Delta 2} - S_{\Delta 1}; S_{\text{прох.}3} = S_{\Delta 3} - S_{\Delta 2}.$$

Наприклад, якщо весь припуск знімається за три проходи, а для розрахунку площі справедлива залежність (3.3), то при розрахунках параметрів B' та L для першого проходу використовуємо глибину $t = \Delta_1$, для другого $2 \cdot t = \Delta_2$, третього $3 \cdot t = \Delta_3$ і т.д.

Треба мати на увазі, що при розрахунку параметру W' (залежність (3.1)) глибина обробки постійна й дорівнює $t = \Delta_1$. У цьому й полягає сенс обмеження площі контакту РПК з деталлю.

Результати графічного комп'ютерного моделювання показали (загальні умови експерименту відповідали найбільш поширеним випадкам плоского торцевого шліфування й були такими $d_k = d_{k.max} = 400$ мм; $d_{k.min} = B = 250$ мм; $t = 0,05$ мм; $a = \Gamma$), що функції $S = f(a)$, $S = f(d_k)$ та $S = f(t)$ можна достатньо коректно описати ступеневими залежностями, що дають наочне уявлення про характер та ступінь впливу факторів на площу.

Математична обробка результатів комп'ютерних експериментів із застосуванням методу найменших квадратів дозволила вивести узагальнену залежність площі контакту S від умов обробки. Ця залежність має наступний вигляд:

$$S = 587,10 \cdot a^{-1,49} \cdot t^{1,49} \cdot d_k^{0,49} \quad (3.14)$$

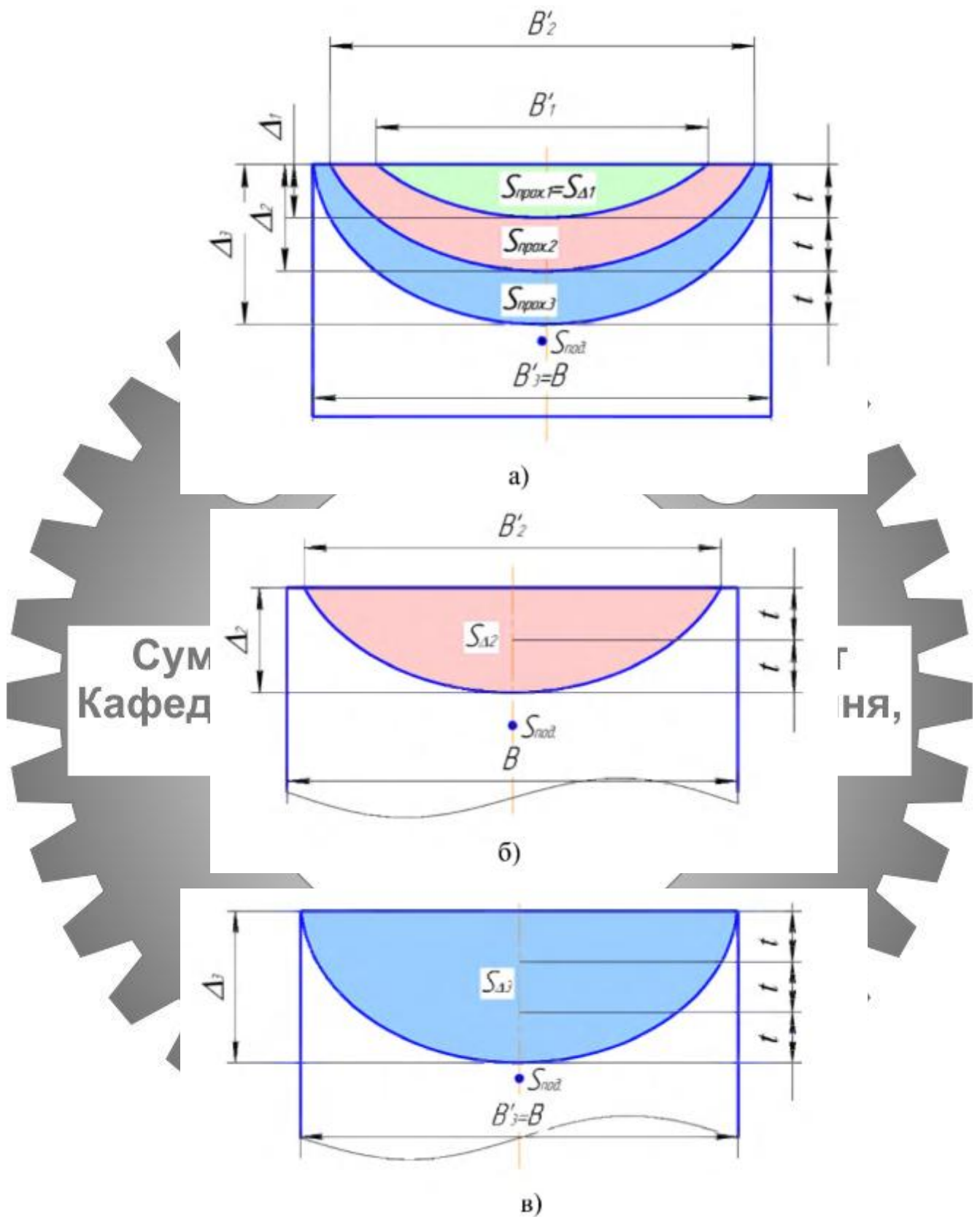


Рисунок 3.18 – До особливостей визначення площі контакту РПК з деталлю при шліфуванні «на прохід» ($t = \text{const}$, $W' = \text{const}$)

Комп'ютерне 3D-моделювання показало, що, наприклад, картина зміни площі контакту РПК з деталлю в міру збільшення глибини шліфування має вигляд, який представлено на рисунку 3.19. Тобто зі збільшенням глибини обробки продуктивність процесу буде збільшуватися за рахунок суттєвого зростання площі контакту РПК з деталлю. Це свідчить про те, що обробку при $t = \text{const}$ можна вважати додатковою можливістю керування величиною площі контакту. Графіки, наведені на рисунку 3.21, наочно ілюструють різницю в значеннях площі контакту РПК з деталлю при шліфуванні за першим (рис. 3.19) та другим (рис. 3.20) підходами.

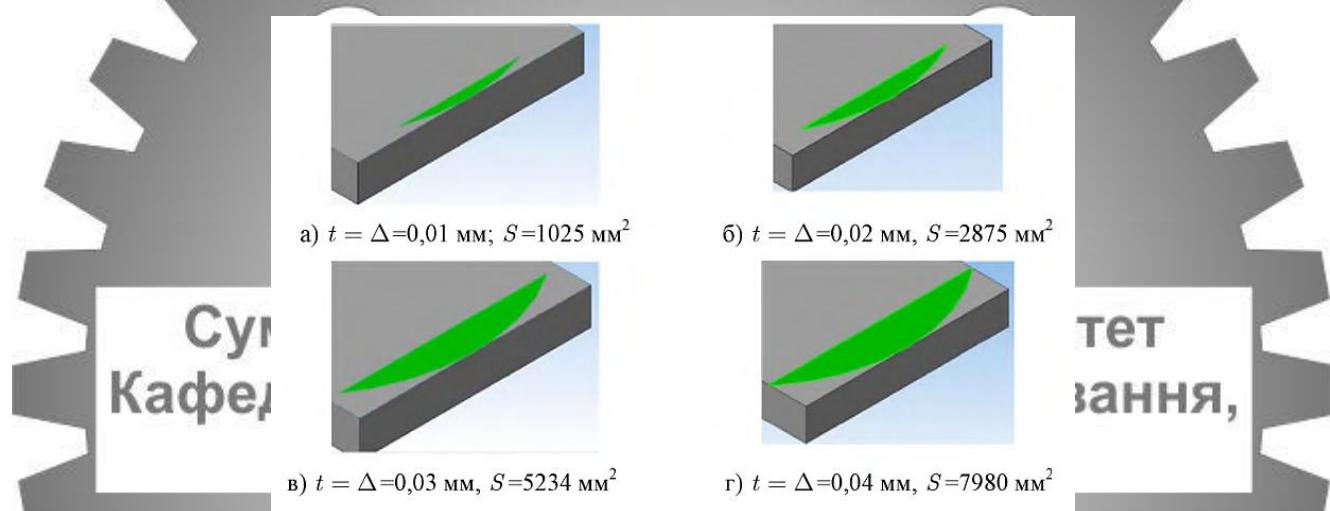


Рисунок 3.19 – 3D-моделі, які відображують вплив глибини шліфування «на прохід» на площу контакту РПК з деталлю ($B = 250$ мм; $d_k = 400$ мм; $\alpha = 0,05^\circ$)

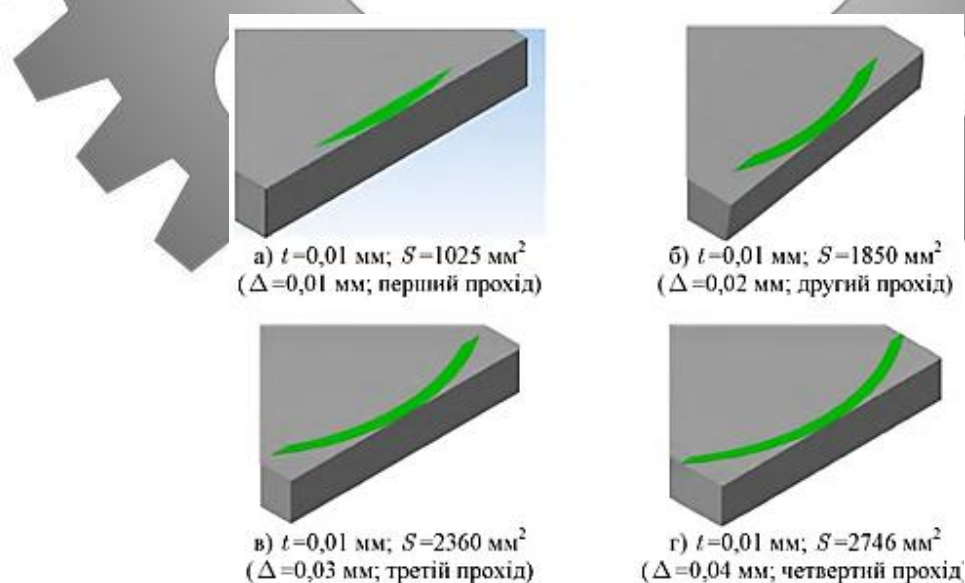


Рисунок 3.20 – 3D-моделі, які відображують зміну площі контакту РПК з деталлю при $t = \text{const}$ ($B = 250$ мм; $d_k = 400$ мм; $\alpha = 0,05^\circ$)

На перший погляд це очевидно, але в числовому вираженні такі дані наводяться вперше. Вони свідчать про те, що в першому випадку змінюються обидва параметри, що безпосередньо впливають на площу контакту РПК з деталлю (тобто довжина W' та довжина дуги контакту L), а в другому $W' = \text{const}$, а зміна значення площі відбувається за рахунок збільшення довжини дуги контакту L . Унаслідок цього площа контакту в другому випадку зменшується в кілька разів. Це є додатковим резервом для управління тепловою напруженістю процесу плоского торцевого шліфування.

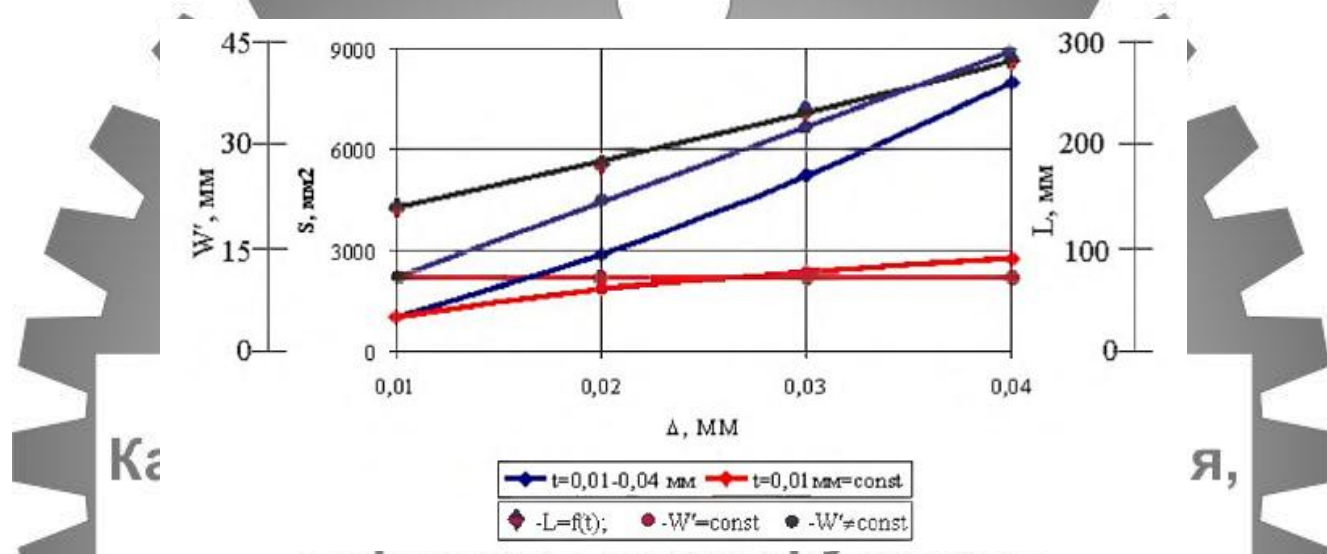


Рисунок 3.21 – Ілюстрація можливості зниження площі контакту РПК з деталлю при шліфуванні «на прохід» ($B=250$ мм; $d_k=400$ мм; $\alpha=0,05^\circ$)

Порівняльний аналіз даних розрахунку площі зони контакту РПК з деталлю, отриманих шляхом комп'ютерного моделювання й розрахованих аналітично показує, що навіть при дуже малому значенні кута нахилу осі шпинделя ($\alpha = 0,05^\circ$) похибка між експериментальними та розрахунковими даними не перевищує 2 %.

Аналіз залежностей, що відображають вплив умов обробки на площу показує, що попередній нахил осі шпинделя на кут α дозволяє в достатньо широких межах управляти значенням площі S . Найбільш різка зміна площі має місце в зоні малих значень кутів попереднього нахилу осі шпинделя ($\alpha < 0,25^\circ$) з причини відповідної зміни ширини та довжини зони контакту РПК з деталлю. З одного боку, як уже зазначалося, при значній площі в зоні контакту РПК з деталлю можуть розвиватися високі температури. Але з іншого — завдяки тому, що такі значення ку-

тів α характерні, як правило, для чистового шліфування (яке, як відомо, реалізується з малими глибинами обробки), це в цілому не призводить до різкого зросту теплової напруженості процесу обробки, що є позитивним фактором.



РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів на ділянці з виготовлення деталі «Корпус»

Проведемо аналіз умов праці в механоскладальному цеху Сумського державного університету, де виготовляється деталь «Корпус».

Даний аналіз проводимо з використанням нормативних правових актів, до яких відносяться:

- стандарти системи безпеки (ССБТ);
- будівельні норми і правила (СНиП);
- санітарні норми і правила (Санпін);
- міжгалузеві правила по охороні праці;

– галузеві правила з охорони праці; міжгалузеві і галузеві організаційно-методичні документи (положення, методичні вказівки, рекомендації); та інструментів

- типові галузеві інструкції з охорони праці;
- інструкції з безпеки.

Технологічний процес обробки деталі «Корпус» здійснюється на ділянці, розміщеній у механічному цеху, зібраному з типових секцій висотою 5 м.

У технологічному процесі обробки деталей задіяні наступні верстати та обладнання:

- токарні верстати;
- координатно-розточні верстати;
- фрезерні верстати;
- сведильні верстати;
- комплексний оброблюваний центр із ЧПК.

Тип виробництва – багатноменклатурний. Обладнання розставлено за груповою ознакою.

Для транспортування і зберігання деталей, заготовок і відходів виробництва використовується тара-контейнери, виготовлені відповідно до ГОСТ 14861. Згідно ГОСТу контейнери використовуються для заготовок і деталей: Тара1-1-100-80.

Установка заготовок на верстатах при обробці на токарних, координатно-розточувальних верстатах проводиться в стандартних умовах – 3-х кулачкових патронах і лещатах відповідно. Крім того на координатно-розточний і багатоцільовий операції, застосовуються для установки та закріплення заготовок спеціальні пристосування з гідроприводом, що працюють при тиску в мережі 0,4 МПа. При встановленні заготовки в пристосування застосовується кран-балка вантажопідйомністю $Q=1$ т. Ця ж кран-балка застосовується для установки пристроїв на верстаті. Маса пристосування на операції до 30 кг. На контрольній операції використовується спеціальне пристосування масою 30 кг встановлення якого також здійснюється за допомогою кран-балки.

Ріжучий інструмент застосовується в основному стандартний, але є й спеціальні різці, використовувані на токарних і розточувальних операціях. На токарних операціях інструмент здійснює зворотно-поступальний рух, а при фрезеруванні - обертальний рух. При контролі на робочому місці і столі ВТК в якості вимірювального інструменту застосовується стандартний – шкальний та граничний інструмент.

Аналіз виробничого ділянки дозволяє виділити наступні потенційні небезпеки і шкідливості:

- можливість контакту з рухомими частинами обладнання (пересуваються столом, супортом, обертаним інструментальним магазином);
- можливість контакту з рухомих технологічних транспортів;
- можливість падіння заготовки при встановленні і знятті її з верстата в результаті відсутності схеми стропування;
- можливість появи небезпечної зони при транспортуванні тари, пов'язана з відсутністю маршруту переміщення або його порушенням;
- руйнування конструкцій інструменту, в результаті перевищення нава-

нтаженнями гранично допустимих значень;

- розкріплення деталі в пристосуванні з пневмоприводом під час її обслуговування на координатно-розточувальному верстаті з ЧПК з-за раптового припинення підведення повітря (при відмові компресора).

- замикання електричного ланцюга на металеві нетоковедущі частини обладнання в результаті порушення цілісності ізоляції струмоведучих частин; По пожежній небезпеці приміщення проектного ділянки відноситься до категорії «Д», тобто в приміщенні використовуються негорючі речовини і матеріали в холодному стані. Обладнання підключається до електричної мережі з трифазним струмом напругою 380 В і частотою 50 Гц.

- недостатня освітленість робочого місця при обробці поверхонь; Освітлення виробничого приміщення здійснюється природним і штучним світлом. Природне освітлення здійснюється за комбінованою схемою: через світлові отвори в бічних стінах і світлоаераційних ліхтарях. Загальне штучне освітлення здійснюється світильниками з лампами денного світла, застосування яких дозволено ДБН В.2.5-28-2006 [11]. Для місцевого освітлення застосовуються світильники, встановлені безпосередньо на робочому місці.

- контакт робочого, при виконання технологічних операцій (контроль, встановлення і зняття деталі), з гострими кромками, задирок на поверхнях заготовок;

- контакту робітника, при виконанні технологічних операцій (під час механічної обробки) з вилітає стружкою, утвореної в процесі різання;

- контакту робітника, при виконанні технологічних операцій (контроль, встановлення і зняття деталі), з поверхнями обладнання, заготовок, інструментів, що мають підвищену температуру в результаті виділення тепла при різанні і при терті контактуючих поверхонь;

- підвищений сумарний рівень шуму при спільній роботі обладнання;

- підвищення вібрації обладнання через переривчастих процесів різання;

– запиленість і загазованість повітря робочої зони пилом і парами речовин, що утворюються при випаровуванні ЗОР.

Як МОР при обробці заготовок на ділянці використовується 5% розчин «Аквол-2». До її складу входять ПАР з додаванням мінеральних масел та інгібіторів корозії. Дана ЗОР має малу токсичність, не володіє дратівливою дією і не є активним джерелом забруднення повітря. ЗОР відноситься до 4-му класу небезпеки.

Виконувані робітниками на ділянці операції відносяться до робіт середньої важкості, категорія 2-б. Категорія зорових робіт за ДБН В.2.5-28-2006 від малої, середньої точності на чорнових операціях, до високої точності на чистових і контрольних операціях.

При обробці деталей, матеріалом яких є в'язка сталь, утворюється зливна стружка на токарних операціях і елементна стружка при фрезеруванні. На чорнових операціях при обробці по кірці утворюється пил від окалини з розмірами частинок від 2 до 60 мкм. На робочому місці забирається стружка з устаткування з допомогою гачка і шляхом змитання за допомогою щіток. Навколо устаткування і робочого місця забирається стружка допоміжними робітниками в контейнери, які потім транспортуються у відведене місце в цеху для подальшого вивезення.

Виконувані робітниками на ділянці операції відносяться до робіт середньої тяжкості, категорія II-б. Категорія зорових робіт по ДБН В.2.5-28-2006 від малої, середньої точності на чорнових операціях, до високої точності на чистових і контрольних операціях.

Для розроблення організаційних заходів, що забезпечують безпечні умови праці на ділянці з виробництва деталі типу корпус виконаємо порівняння допустимих та фактичних величин температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень шляхом порівняння показників у таблицях 4.1 та 4.2.

Відповідно до вимог техніки безпеки, викладеними в стандартах ГОСТ 12.3.002-2014 ССБТ. «Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки» в дипломному проекті передбачається комплекс таких заходів:

- для запобігання контакту робочого з рухомими частинами обладнання, передбачити відповідно до застосування додаткових захисних пристроїв, відповідних вимогам. Це, зокрема, додаткові огороження, що закривають рухомі частини обладнання (супорт, стіл, інструментальний магазин верстата);
- для забезпечення безпечного руху наземного транспорту транспортні шляхи встановлюються відповідно до СНиП 2.05.02 і повинні відповідати вимогам;
- для запобігання падінню заготовки при установці і знятті її з верстата розробити схему стропування;
- при транспортуванні тари, розробити маршрут переміщення і розташувати його на видному місці;
- відповідно до в комплекті до верстатного обладнання передбачити запобіжні пристрої (запобіжні патрони, оправки), що захищають від перевантаження, здатної викликати поломку інструменту і травмування працюючих;
- відповідно до в комплекті до пристосування з гідроприводом передбачити запобіжні пристрої - зворотні клапани для запобігання розкріплення деталей при раптовому припиненні подачі масла;
- для запобігання замикання через тіло людини електричного кола з підвищеним значенням напруги відповідно до передбачаються наступні заходи: підключення виробничого обладнання до заземлювального пристрою; наявність подвійної або посиленої ізоляції з пробивним напругою не менше 4000 В; на кожному робочому місці близько верстата повинні бути дерев'яні трапи на всю довжину робочої зони, а за шириною не менше 0,6 м від частин верстата. Передбачається також застосування засобів індивідуального захисту (гумові калоші, килимки);
- для забезпечення освітленості робочих місць передбачити використання додаткових світильників місцевого освітлення на токарних операціях;
- для запобігання контакту робочого з поверхнями мають гострі кромки, задирки, шорсткість передбачити індивідуальні засоби захисту (рукавиці);

– для обмеження зони поширення стружки використовувати захисні екрани, як стаціонарно встановлені на обладнанні, так і окремо. На металорізальних верстатах зону обробки закривати захисними кожухами;

– для запобігання контакту робочого з поверхнями мають підвищену температуру (в основному поверхні обладнання, інструменту, стружки і оброблюваних деталей) використовувати захисні кожухи, індивідуальні засоби захисту (рукавиці). Для зниження температури в зоні різання використовувати МОР;

– для зменшення рівня шумів на робочому місці передбачити раціональну розстановку устаткування, що враховує фактор спрямованості, рекомендувати для облицювання стін і стель використовувати шумопоглинаючі матеріали для покриття внутрішніх поверхонь виробничих будівель, уникати по можливості переривчастого різання;

– для зменшення вібрації використовувати віброізоляцію обладнання. У конструкції виробничого обладнання передбачити виконання всіх вимог по вібраційній безпеці. Уникати переривчастих процесів різання. Для підтримки обладнання у відповідності з його технічними характеристиками передбачити систему планово-попереджувальних ремонтів;

– для недопущення перевищення гранично-допустимих значень концентрацій шкідливих речовин і пилу в повітрі робочої зони зазначених використовувати систему загальнообмінної вентиляції та очищення повітря.

Таблиця 4.1 – Допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна (%) на робочих місцях - постійних і непостійних	Швидкість руху (м/сек.) робочих місцях - постійних і непостійних
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний період	Середньої важкості ПБ	21	23	15	13	75	не більше 0,4
Теплий період	Середньої важкості П	27	29	15	15	70 - при 25°С	0,5 - 0,2

Таблиця 4.2 – Фактичні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість (%) на робочих місцях постійних і непостійних	Швидкість руху (м/сек.) на робочих місцях постійних і непостійних
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний період руху	Середньої важкості Пб	20	19	18	14	75	не більше 0,4
Теплий період року	Середньої важкості Пб	22	25	20	20	70 - при 25°С	0,5 - 0,2

4.2 Розрахунок повітря робочої зони, розрахунок загальнообмінної вентиляції

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
Розміри цеху 24 x 12 x 5 м.

Стіни цеху цегляні, перекриття – залізобетонне.

У цеху 24 вікон розміром 1x1 м з подвійним склом та двоє воріт розмірами 3,5x3 м, аераційні ліхтарі площею 245 м².

У цеху встановлено 4 шліфувальних, 3 токарних, 1 зубодовбальний та 5 фрезерних верстатів загальною потужністю 120 кВт/год.

Потужність світильників загального освітлення 15 кВт/год.

У цеху одночасно працює 5 чол.

У цех надходить ззовні 2400 кг/год.

Температура зовнішнього повітря для холодного періоду

$t_3 = -14$ °С; для теплого періоду $t_3 = +25$ °С.

Розрахунок за надлишковим тепловиділенням.

Повітрообмін для видалення надлишкового тепла визначається за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{надл}}}{c \cdot \rho_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{вид}} - t_{\text{пр}})} \quad (4.1)$$

Визначення надлишкового тепловиділення $Q_{\text{надл}}$:

$$Q_{\text{надл}} = Q - Q_{\text{вих}}, \quad (4.2)$$

де Q – загальна кількість тепла, що надходить до приміщення;
 $Q_{\text{вих}}$ – загальна кількість тепла, що відводиться з приміщення.

$$Q = Q_{\text{дв}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{сон}} + Q_{\text{л}} \quad (4.3)$$

де $Q_{\text{дв}}$ – виділення тепла від електродвигунів верстатів;
 $Q_{\text{осв}}$ – виділення тепла від освітлюваних приладів;
 $Q_{\text{сон}}$ – виділення тепла від сонячної радіації;
 $Q_{\text{л}}$ – виділення тепла від працюючих людей.

$$Q_{\text{вих}} = Q_{\text{дод}} + Q_{\text{втр}} \quad (4.4)$$

де $Q_{\text{дод}}$ – втрати тепла на нагрів повітря, яке надходить у приміщенні;
 $Q_{\text{втр}}$ – втрати тепла через конструкції цеху.

$$Q_{\text{дв}} = N \cdot 860 \cdot \Psi_1 \cdot \Psi_2 \cdot \Psi_3 \cdot \Psi_4, \text{ кКал/год} \quad (4.5)$$

де ΣN – сумарна потужність двигунів;
 860 – теплоелектричний еквівалент,
 Ψ_1 – середній ККД електродвигунів;
 Ψ_2 – коефіцієнт використання двигунів;
 Ψ_3 – коефіцієнт одночасності роботи двигунів;
 Ψ_4 – коефіцієнт, який характеризує перехід механічної енергії в теплову.

При роботі обладнання без спеціального охолодження:

$$\Psi_1 \cdot \Psi_2 \cdot \Psi_3 \cdot \Psi_4 = 0,25 \quad (4.6)$$

При роботі обладнання з охолодженням:

$$\Psi_1 \cdot \Psi_2 \cdot \Psi_3 \cdot \Psi_4 = 0,1. \quad (4.7)$$

Тоді за формулою 4.5:

$$Q_{дв} = 120 \cdot 860 \cdot 0,1 = 10320 \left(\frac{\text{кКал}}{\text{год}} \right)$$

$$Q_{осв} = N \cdot 860 = 15 \cdot 860 = 12900 \left(\frac{\text{кКал}}{\text{год}} \right)$$

$$Q_{сон} = Q_o + Q_n \quad (4.8)$$

**Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів**

де $Q_o = q_o \cdot A_o \cdot F_o$ – надходження тепла через заклені отвори;

$Q_n = q_n \cdot K_n \cdot F_n$ – надходження тепла через перекриття цеху;

q_o, q_n – величини радіації;

F_o, F_n – площі закслених поверхонь та перекриття відповідно, (м^2);

A_o - коефіцієнт, який враховує вид закслених отворів,

A_o для вікон = 1,15;

A_o для ліхтарів = 0,8;

K_n – коефіцієнт теплопередачі перекриття.

Тоді за формулою 4.8:

$$Q_o = 12 \cdot 24 \cdot 6 \cdot 1,15 + 160 \cdot 245 \cdot 0,8 = 50335 \text{ (кКал/год).}$$

$$Q_n = 18 \cdot 0,75 \cdot (24 \cdot 12 - 245) = 580,5 \text{ (кКал/год).}$$

$$Q_{\text{con}} = 50335 + 580,5 = 50915,5 \text{ (кКал/год)}.$$

Виділення тепла від працюючих людей :

$$Q_{\text{л}} = 5 \cdot 225 = 1125 \text{ (кКал/год)}. \quad (4.9)$$

Сумарне надходження тепла:

– для холодного періоду $Q = 10320 + 12900 + 1125 = 24345$ (кКал/год);

– для теплого періоду $Q = 24345 + 50915,5 = 75260,5$ (кКал/год).

Втрати тепла на нагрів повітря, яке надходить у приміщення.

$$Q_{\text{дод}} = 0,24 \cdot G (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) = 0,24 \cdot 2400 \cdot (25 + 14) = 22464 \text{ (кКал/год)} \quad (4.10)$$

Втрати тепла через конструкції цеху.

$$Q_{\text{втр}} = F \cdot n \cdot K_n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \quad (4.11)$$

де F – площа поверхні конструкцій цеху, (м^2);

$n = 0,6$ – коефіцієнт;

K_n – коефіцієнт тепловіддачі конструкцій.

Втрати тепла через конструкції цеху розраховуємо тільки для холодного періоду року.

Для застаклених отворів:

$$Q_{\text{втр}} = (120 + 245) \cdot 0,6 \cdot 2,5 \cdot (25 + 14) = 21352 \text{ (кКал/год)}. \quad (4.12)$$

Для воріт:

$$Q_{\text{втр}} = 21 \cdot 0,6 \cdot 5 \cdot (25 + 14) = 2456 \text{ (кКал/год)}. \quad (4.13)$$

Для підлоги:

$$Q_{впр} = 3500 \cdot 0,6 \cdot 0,19 \cdot (25 + 14) = 15561 \text{ (кКал/год)}. \quad (4.14)$$

Для стін:

$$Q_{впр} = 1540 \cdot 0,6 \cdot 0,67 \cdot (25 + 14) = 24144 \text{ (кКал/год)}. \quad (4.15)$$

Для стелі:

$$Q_{впр} = 3255 \cdot 0,6 \cdot 0,75 \cdot (25 + 14) = 57124 \text{ (кКал/год)}. \quad (4.16)$$

Сумарні втрати:

$$Q_{впр} = 21352 + 15561 + 24144 + 57124 = 120639 \text{ (кКал/год)}. \quad (4.17)$$

Розрахунок надлишкової кількості тепла визначаємо за формулою 4.2:

- для холодного періоду року

$$Q_{надл} = 24345 - 75260,5 - 22464 = -733579,5 \text{ (кКал/год)}$$

- для теплого періоду

$$Q_{надл} = 77141,5 \text{ (кКал/год)}.$$

Визначення необхідного повітрообміну при виділенні тепла:

$$L = \frac{Q_{надл}}{c \cdot \rho_{пр} \cdot (t_{вид} - t_{пр})} = \frac{77141,5}{0,24 \cdot 1,18 \cdot (12 - 6)} = 45539 \text{ (м}^3\text{/Год)}, \quad (4.18)$$

де $\rho_{пр} = 1,18 \text{ (кг/м}^3\text{)}$;

$$t_{\text{вн}} = t_{\text{р.з.}} + \Delta t \cdot (H - 2) = 12 + 2 \cdot (5 - 2) = 18 \text{ (}^\circ\text{C)}; \quad (4.19)$$

де $t_{\text{р.з.}}$ – температура повітря в робочій зоні, С;

$\Delta t = (1 \div 5)^\circ\text{C/м}$ – температурний градієнт;

H – висота приміщення, м.

Розрахунок за забруднюючими речовинами

Розрахунок необхідного повітрообміну для видалення забруднюючих речовин проводиться за формулами [44]

Знайдемо об'єм приміщення, який припадає на одного працюючого:

$$V^1 = \frac{24 \cdot 12 \cdot 5}{5} = 29 \text{ (м}^3\text{/люд)}. \quad (4.21)$$

Таким чином, розрахунок за формулою [44] $L_{\text{Н}} = N \cdot L_1$ не проводимо.

Розрахунок по пилу чавуну проводимо за формулою:

$$L_{\text{Н}} = \frac{G}{C_{\text{вид}} - C_{\text{спр}}} = \frac{3 \cdot 2 + 5 \cdot 12}{0,006 - 0} = (11000 \text{ м}^3\text{/год)}. \quad (4.22)$$

Дані по виділенню пилу беремо з [44]. При наявності місцевих пиловідсмоктувачів у розрахунку візьмемо 10% від табличних даних.

Розрахунок по аерозолі емульсола:

$$L_{\text{Н}} = \frac{G}{C_{\text{вид}} - C_{\text{спр}}}. \quad (4.23)$$

$$L_{\text{Н}} = \frac{3 \cdot 20 + 5 \cdot 100}{5 - 0} = (11200 \text{ м}^3\text{/год}).$$

Сумарний повітрообмін по забруднюючим речовинам

$$L_{\text{Н}} = 11200 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

Таким чином, вибір вентилятора для механічної вентиляції виконуємо з розрахунку видалення надлишкового тепла $L = 45539 \text{ м}^3/\text{год}$.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Пожежна безпека об'єктів виробничого, громадського та побутового призначення являє собою одну з найважливіших народногосподарських проблем. Зменшення пожежної безпеки, обмеження збитку від виниклої пожежі досягається сукупністю засобів, спрямованих як на запобігання можливості виникнення пожежі, так і на раннє його виявлення і швидке ефективне гасіння.

Основними, найбільш частими причинами виникнення пожеж і вибухів є:

- необережне поводження з відкритим вогнем при палінні, користуванні палаючими сірниками, при роботі з ковальськими горнами, зварювальними апаратами та паяльними лампами, при розведенні багать і т.д.;
- несправність або перевантаження електрообладнання або електромережі;
- несправність виробничого обладнання та порушення технологічного процесу;
- вибухи газоповітряних, пароповітряних сумішей пилу і т.д.;
- самозаймання горючих або хімічних речовин;
- загоряння матеріалів внаслідок грозових розрядів, розрядів статичної електрики.

У разі виникнення пожежі потрібно знати план евакуації показаний на рисунку 4.1. Який відповідно до Правил пожежної безпеки ППБ 01-2003, в кожному приміщенні, де одноразово перебувають понад 10 осіб, на видному місці повинен бути вивішений схематичний план евакуації людей при пожежі.

Наслідки загоряння можуть бути різні від згорілої сорочки до знищення цілої фабрики. Все залежить від сили пожежі, джерела, як швидко зреагували спеціальні служби. Які були вжиті заходи для гасіння пожежі. Якщо було погано організований план евакуації персоналу і не було засобів пожежогасіння, то можуть

бути і жертви від пожежі, чадного газу та ін.



Рисунок 4.1 – План евакуації

Успіх гасіння всякого пожежі залежить від швидких і умілих дій першого, хто виявив пожежу. Кожен робітник і службовець повинен знати місцезнаходження найближчого телефону або пожежного сповіщувача і вміти передати повідомлення в пожежну команду.

Передаючи повідомлення про пожежу потрібно не хвилюючись назвати точно місце виникнення пожежі, що горить, назвати своє прізвище та установу чи організацію.

Виклик пожежної команди необхідно проводити негайно при виявленні пожежі або перших ознак загорання.

Після передачі повідомлення про виникнення пожежі (загорання) необхідно вжити заходів до ліквідації пожежі наявними первинними засобами пожежогасіння (вогнегасниками, внутрішніми пожежними кранами, водою з бочок, піском та іншими підручними засобами), залежно від того, що горить.

Евакуація в надзвичайних ситуаціях.

У будівлях і спорудах на випадок виникнення пожежі необхідно передбачати евакуаційні шляхи і виходи.

Виходи вважаються евакуаційними, якщо вони ведуть:

- з приміщень першого поверху назовні безпосередньо або через коридор, вестибюль, сходову клітку;
- з приміщень інших поверхів в сходову клітку (безпосередньо, зокрема через хол або через коридор), яка має мати вихід назовні безпосередньо або через вестибюль, відокремлений від примикаючих коридорів перегородками з дверима;
- з приміщень в сусіднє приміщення в тому ж поверсі, забезпечене вказаними вище виходами.

У разі влаштування евакуаційних виходів з двох сходових кліток через загальний вестибюль одна з них має мати ще один вихід безпосередньо назовні. Евакуаційні виходи розташовуються розосереджено, кількість їх з будівель і з кожного поверху будівлі має бути не меншою двох.

Евакуаційними шляхами вважаються такі, які безпосередньо ведуть до евакуаційного виходу і забезпечують безпечний рух людей. Ліфти і ескалатори не відносять до шляхів евакуації. На шляхах евакуації не має бути перешкод для руху людей. Проходи, коридори, сходи, тамбури, виходи в будівлях підприємств, баз і складів не можна загроможувати. Двері мають відкриватися назовні і бути розпашними, висота їх в світлі приймається не менше 2 м.

Ширина евакуаційних проходів, протяжність шляхів евакуації, кількість і ширина евакуаційних виходів (дверей) визначаються розрахунковим шляхом. Сумарна ширина маршів сходових кліток, ширина дверей, коридорів і проходів між технологічним устаткуванням приймається з розрахунку не меншою 0,6 м на 100 чел. Причому, ширина шляхів евакуації і дверей у всіх випадках має бути не меншою 1,0 і 0,8 м відповідно. Ширина проходів не меншою 0,9 м.

Ширина сходового майданчика повинна бути не менше ширини маршу, а перед входом в ліфт з розпашними дверима – не менше 1,6 м.

У разі неможливості виконати цю вимогу евакуаційні виходи розташовують

по периметру з розрахунку один вихід на 100 чол. Відстань між виходами має бути не більшою 50 м. Для площі приміщень понад 300 м² кількість виходів з них повинна бути, як правило, не менше двох.

Така ж кількість виходів передбачається, наприклад, зі складів і ізольованих відсіків цих складів площею більше 100 м², з машинних залів площею 250 м². З машинних відділень аміачних холодильних установок площею до 40 м² допускається мати один вихід. У приміщеннях з одним евакуаційним виходом допускається перебування одночасно не більше 50 чол. У торгових залах і на шляхах евакуації людей не допускається зберігання горючих матеріалів, відходів, упаковки і контейнерів.

Для сповіщення людей про пожежу в будівлях використовуються як внутрішня радіотрансляційна мережа, так і спеціально змонтовані мережі віщання, а також тривожні дзвінки та інші сигнали. Типова схема системи сповіщення про пожежу повинна включати: магнітофони з наперед записаними на магнітофонну стрічку текстами сповіщення, підсилювач, пристрій вихідної комунікації, розподільну дротяну мережу, звукові колонки (динаміки).

Плани (схеми) евакуації людей на випадки виникнення пожежі мають бути розроблені і вивішені на видних місцях в будівлях і спорудах (окрім житлових будинків), які мають два поверхи і більше, якщо одночасно перебувають на поверсі більше 25 чоловік.

4.4 Висновки

- Проведено аналіз шкідливих і небезпечних факторів на ділянці з виготовлення деталі «Корпус» та визначені шляхи щодо їх усунення.
- Виконаний розрахунок загально обмінної вентиляції, який дозволяє підібрати вентилятор для цеху, де виготовляється деталь «Корпус», що буде забезпечувати достатній рух повітря у цеху.
- Проведений аналіз безпеки у надзвичайних ситуаціях та розроблений план евакуації приміщення.

ВИСНОВКИ

Тема дипломного проекту – удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі корпус 1.478.15.274.01 шляхом підвищення ефективності операції плоского шліфування.

У ході виконання дипломного проекту було виконано наступний обсяг робіт.

При аналізі службового призначення були відображені основні технічні характеристики і призначення машини. Що стосується самої деталі, то був проведений аналіз усіх її поверхонь, а також функцій, виконуваних ними.

Виконано аналіз технологічності конструкції згідно ЕСТПП.

При аналізі технічних вимог ми описали властивості сталі 30X13, а також були проаналізували вимоги, пропонувані при виготовленні деталі конструктором, їх відповідність загальноприйнятим стандартам.

Був визначений тип виробництва – дрібносерійний і визначена партія запуску $n = 19$ штук.

В якості заготовки була прийнята ковка на пресах, так як вона більш економічно вигідна, ніж вільна ковка.

Розраховані припуски аналітичним способом за допомогою методу професора Кована на внутрішню циліндричну поверхню.

Під час виконання роботи було проаналізовано заводський технологічний процес виготовлення деталі та внесено зміни спрямовані на його вдосконалення, а саме змінена послідовність операцій, замінено універсальне устаткування на обладнання з ЧПК.

Спроектований верстатний пристрій для токарної із ЧПК операції.

У розділі «науково-дослідна частина» були розглянуті питання дослідження можливості управління параметрами зони контакту круга з деталлю шляхом попереднього нахилу осі обертання нахилу осі шпинделя, що дозволило підтвердити, що попередній нахил осі шпинделя дозволяє в достатньо широких межах управляти значеннями параметрів зони контакту РПК з деталлю. Встановлено, що

найбільш різка зміна параметрів має місце у зоні малих значень кутів ($<0,25^\circ$). В таких умовах додатковий вплив на параметри мають діаметр круга, глибина обробки та ширина деталі.

Для забезпечення технічних вимог щодо відхилення від площинності при реалізації глибинної схеми обробки «на прохід» потрібно мати чітко визначену величину кута нахилу осі шпинделя, причому з урахуванням того, що на відхилення форми плоскої поверхні окрім нього мають вплив зовнішній діаметр торцевого круга, а також ширина оброблювальної поверхні деталі.

До операції 015 токарна з ЧПК розроблена карта операційного налагодження.

У розділі «охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» виконано розрахунок загально обмінної вентиляції, який дозволяє підібрати вентилятор для цеху.



**Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів**

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. **Захаркин А.У.** Методические указания для практических работ по курсам «Теоретические основы изготовления деталей и сборки машин» и «Технология машиностроения» для студентов направления 0902 «Инженерная механика» всех форм обучения [Текст] : А. У. Захаркин, В. Г. Евтухов. - Сумы изд. СумДУ 2004. – 75 с.
2. **Горбачевич А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения [Текст] : [учеб. пособие для машиностроит. спец.] / А. Ф. Горбачевич, В. А. Шкред. - Мн.: Выш. Школа, 1983. — 256 с.
3. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски [Текст]. – Введ. 1990-01-07. – Москва. : Изд-во стандартов, 1990. – 55 с.
4. **Косилова А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя [Текст]: в 2 т. / А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков. – М.: Машиностроение, 1985. – 2 т. – 656 с.
5. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ [Текст] : в 2 ч. Ч. 2 / М.: Экономика, 1990. – 472 с.
6. Общемашиностроительные нормативы времени для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ, [Текст]: в 2 ч. Ч. 1 / М.: Экономика, 1989. - 402 с .
7. **Горошкин А. К.** Приспособления для металлорежущих станков [Текст] : А. К. Горошкин. – М: Машиностроение, 1979. – 302 с.
8. **Колев Н. С.** Металлорежущие станки [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Колев Н. С., Красниченко Л. В., Никулин Н. С. -М.: Машиностроение, 1980. - 500 с.
9. **Кушніров П. В.** Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Технологічна оснастка” [Текст] : П. В. Кушніров. – Суми: Вид-во Сум ДУ, 2009. – 52 с.
10. **Гжиров Р. И.** Краткий справочник конструктора [Текст] : Р. И. Гжиров. - Л: Машиностроение, 1984. – 464 с.
11. **Дунаев И. М.** Организация проектирования системы технического контроля [Текст] : Дунаев И. М., Скворцов Т. П., Чутырин В. Н. - М: Машиностроение, 1981. –

191 с.

12. **Штейнберг Б. И.** Справочник молодого инженера конструктора [Текст] : Б. И. Штейнберг, Б. М. Брайнман. – Киев: Техника, 1983. – 184 с.

13. **Цейтлин Я. М.** Нормальные условия измерения в машиностроении [Текст] : Я. М. Цейтлин. – Л.: Машиностроение, 1981. – 224 с.

14. **Євтухов В. Г.** Методичні вказівки до практичної роботи "Вибір засобів вимірювання та його обґрунтування" з дисципліни "Основи конструювання контрольно-вимірювальних пристроїв" для студентів спеціальності 7.090202 та 8.090202 "Технологія машинобудування" денної та заочної форм навчання [Текст] : / В. Г. Євтухов. – Суми, Вид-во СумДУ, 2008. – 20 с.

15. **Чумаков Г. С.** Методические указания к выполнению контрольной работы по курсу "Проектирование контрольно-измерительных приспособлений" для студентов специальностей 12.01 "Технология машиностроения" [Текст] : / Г. С. Чумаков. – Харьков, ХПИ, 1990. – 56 с.

16. **Кузнецов Ю. И.** Оснастка для станков с ЧПУ [Текст] : Кузнецов Ю. И., Маслов А. Р., Байков А. Н. - М: Машиностроение, 1990. – 512 с.

17. **Юдин Е. Я.** Охрана в машиностроении [Текст] : Юдин Е. Я., Белов С. В., Баланцев С. К.— М: Машиностроение, 1983. - 432 с.

18. **Ансеров М. А.** Приспособления для металлорежущих станков. Расчеты и конструкции [Текст] : М. А. Ансеров. – М: Машиностроение, 1964. – 428 с.

19. **Бабаков А. А.** Нержавеющие стали. Свойства, обрабатываемость и химическая стойкость в различных агрессивных средах [Текст] : А. А. Бабаков. – М: Госхимиздат, 1956. – 328 с.

20. Методичні вказівки до кваліфікаційної роботи бакалаврів для студентів спеціальності 6.05050201 «Технологія машинобудування» денної та заочної форм навчання / укладач В. Г. Євтухов. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 44 с.

21. **Иванова Т. Н.** Повышение эффективности торцового алмазного шлифования пластин из труднообрабатываемых сталей на основе изменения

температурно-силовых условий процесса: дис. докт. техн. наук: 05.02.08, 05.02.07 / Иванова Татьяна Николаевна. - Чайковский: - 2014. - 418 с.

22. Иванова Т. Н. Кинематика формообразования при торцовом планетарном шлифовании / Т. Н. Иванова // Известия Челябинского научного центра, 2006. - Вып. 1 (31). - С. 31 - 36.

23. Интегрированные процессы обработки материалов резанием Учебник [для высших учебных заведений] / [А. И. Грабченко, В. А. Залого, Ю. Н. Внуков и др.]; под общ. ред. А. И. Грабченко и В. А. Залого. - Сумы: Университетская книга, 2017. - 451 с.

24. Исаев А. И. Микрогеометрия поверхности при токарной обработке / А. И. Исаев. - М.: - Л.: Изд-во АН СССР, 1950. - 108 с.

25. Исследование зависимости абразивной способности алмазов марки АСБ от их микротвердости / [Н. З. Шишков, А. С. Семенова-Тян-Шанская, М. С. Пивоваров, А. И. Голенко] // - Сб. «Алмазы», 1971. - Вып. 8. - С. 1 - 3.

26. Исследование износостойкости карандашей из природных и синтетических алмазов при правке шлифовальных кругов из эльбора / [Х. А. Ахундзянов, М. С. Друй, В. В. Авакян, А. Д. Перова, В. Б. Кудряшова] // - Сб. «Алмазы», 1971. - Вып. 12. - С. 7 - 8.

27. Кадомцев С. Б. Аналитическая геометрия и линейная алгебра / С. Б. Кадомцев - М.-ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 160 с

28. Калафатова Л. П. Технологічні основи підвищення ефективності обробки та забезпечення якості виробів із технічних стекл і ситалів: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.02.08 «Технологія машинобудування» / Л. П. Калафатова. - Харків: - 2001. - 35 с.

29. Кальченко В. И. Повышение производительности и точности шлифования со скрещивающимися осями эльборового круга и ступенчатого валика / В. И. Кальченко, Н. Н. Погиба, Д. В. Кальченко // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. - Вып. 80. - С. 131 - 141.

30. **Кацев П. Г.** Статистические методы исследования режущего инструмента / П. Г. Кацев. - М.: Машиностроение, 1974. - 231 с.

31. **Киндрук М.** КОМПАС-3Б У10 на 100 % / М. Киндрук. - Питер: Санкт-Петербург, 2009. ISBN 978-5-388-00375-1. - 559 с.

32. **Киселев Е. С.** Научные основы и технология применения смазочно-охлаждающих технологических средств при механической обработке: сборник учебно-исследовательских лабораторных работ / Е. С. Киселев, В. Н. Ковальногов. - Ульяновск: УлГТУ, 2008. - С. 50 - 55.

33. **Киселев Е. С.** Теплофизический анализ концентрированных операций шлифования / Е. С. Киселев, В. Н. Ковальногов. - Ульяновск: УлГТУ, 2002. - 140 с.

34. **Киселев Е. С.** Теплофизика правки шлифовальных кругов с применением СОЖ / Е. С. Киселев. Ульяновск: УлГТУ, 2001. - 171 с.

35. **Клименко С. А.** Ранжирование инструментальных поликристаллических сверхтвердых материалов по износостойкости / С. А. Клименко // Сверхтвердые материалы, 2004. - №4. - С. 69 - 75.

36. **Клименко В. Г.** Вдосконалення процесу плоского торцевого шліфування / В. Г. Клименко, І. М. Пижов // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць.- Харків: НТУ «ХП», 2013. - Вип. 1 (23). - С 68.

37. **Козакова Н. В.** Определение рациональных характеристик алмазных кругов путем 3D моделирования процессов их изготовления и шлифования сверхтвердых материалов: дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / Козакова Наталья Витальевна. - Харьков, 2004. - 210 с.

38. **Колкер Я. Д.** Математический анализ точности механической обработки деталей / Я. Д. Колкер - К.: Техника, 1976. - 200 с.

39. **Королев А. В.** Прогрессивные процессы правки шлифовальных кругов / А. В. Королев, Р. А. Березняк // Изд-во Саратов. Ун-та, 1984. - 112 с.

40. **Корчак С. Н.** Производительность процесса шлифования стальных деталей / С. Н. Корчак - М.: Машиностроение, 1974. - 280 с.

41. **Краснощек Ю. С.** Работоспособность кругов при алмазно-искровом

шлифовании твердых сплавов / Ю. С. Краснощек, М. Д. Узунян // Резание и инструмент. - Харьков: ХПИ, 1980. - Вып. 23. - С. 3 - 10.

42. **Криворучко Д. В.** Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы: монография / Д. В. Криворучко, В. А. Залого. Под общей редакцией В. А. Залого - Сумы: Университетская книга, 2012. - 450 с.

43. **Кулакова И. И.** Химический синтез алмаза и метастабильность / И. И. Кулакова, А. П. Руденко // Ргос. 4, 1999. - Р 61 - 76.

44. **Кумабэ Д.** Вибрационное резание. Пер. с яп. С. Л. Масленникова / Под ред. И. И. Портнова, В. В. Белова. - М.: Машиностроение, 1985. - 424 с.

45. **Лавріненко В. І.** Наукові основи шліфування інструментальних матеріалів із спрямованою зміною характеристик контактних поверхонь: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти» / В. І. Лавріненко. - К.: 2000. - 35 с.

46. **Латышев В. Н.** Повышение эффективности СОЖ / В. Н. Латышев. - М.: Машиностроение, 1985. - 89 с.

47. **Лоскутов В. В.** Шлифовальные станки / В. В. Лоскутов. - М.: Машиностроение, 1976. - 191 с.

48. **Лурье Г. Б.** Шлифовальные станки и их наладка / Г. Б. Лурье., В. Н. Комиссаржевская. - М.: Высшая школа, 1972. - 416 с.

49. **Магазеев М. Г.** Повышение эффективности изготовления профильных инструментов из сверхтвердых и керамических материалов за счет сочетания электроэрозионной и алмазной обработки: дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / Магазеев Михаил Геннадиевич. - Харьков, 1997. - 204 с.

50. **Мазур Н. П.** Основы теории резания материалов: учебник для высш. учебн. заведений / [Н. П. Мазур, Ю. Н. Внуков, А. И. Грабченко и др.] // под. общ. ред. Н. П. Мазура и А. И. Грабченко. - 2-е изд., перераб. и дополн. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. - 534 с.

ДОДАТОК А
КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ КОРПУС



ДОДАТОК Б
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ КОРПУС



**Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів**