

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

РЕЦЕНЗІЯ
на дипломний проєкт (роботу)

Технологічні особливості високошвидкісного
(вказати тему дипломного проєкту (роботи))

фрезерування складнопрофільних деталей

Студент(ка) Приймаєв Ігор Валентинович

Спеціальність 131, Прикладна механіка

(код, найменування спеціальності)

Обсяг проєкту 106 стор.

Кількість аркушів креслень 145

Кількість сторінок пояснювальної записки 164

а) короткий зміст проєкту (роботи) та прийнятих рішень

Робота виконана за правилами з
масштабів, ефекту, заданим. Розглянуто
особливості високошвидкісного фрезерування,
вирішенням багатьох технічних питань
проєкту. Виконано за цих критеріїв ефект високої.

б) висновок про відповідність проєкту (роботи) завданню

Робота відповідає завданню

в) характеристика виконання кожного розділу дипломного проєкту (роботи), рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і передовим методам роботи

Кожний розділ виконаний в повному
обсязі на підставі першочесних нових

г) негативні особливості виконання проєкту (роботи)

не виявлені

д) позитивні особливості контроль пристрій

виконаний суцільним досвідом
вирішення

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проєкту (роботи)

оформлені згідно з стандартами

е) відгук про проект (роботу) загалом

Врахови робота виконанас
вчасом і заслуговує розшуківачню

ж) інші зауваження і з списку літератури

Відсутній джерела з охорони праці.

2. Не підтверджена участь у темі і наукам;
3. Ефективність розробки наведення на
для фрезерування, а для зварювання

з) оцінка проекту (роботи)

Врахови робота виконанас
на технологічному рівні і
заслуговує оцінки «добре»

Рецензію склав доц. маф. ТМБ Ковалев В.В.

(послада, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

«03» 12 2019 р.

[16:31:27] Всплило окно загрузки поисковой страницы №717 [3] (200027 микросек.): Yandex (Время ожидания операции: нетекст)

[16:32:01] Всплило окно загрузки поисковой страницы №712 [3] (200047 микросек.): Yandex (Время ожидания операции: нетекст)

[16:32:31] Всплило окно загрузки поисковой страницы №722 [3] (200050 микросек.): Yandex (Время ожидания операции: нетекст)

[16:32:56] Всплило окно загрузки поисковой страницы №727 [3] (200041 микросек.): Yandex (Время ожидания операции: нетекст)

[16:32:07] Всплило окно загрузки поисковой страницы №732 [3] (200030 микросек.): Yandex (Время ожидания операции: нетекст)

[16:32:41] Всплило окно загрузки поисковой страницы №737 [3] (200025 микросек.): Yandex (Время ожидания операции: нетекст)

[16:38:31] Всплило окно загрузки поисковой страницы №742 [3] (200029 микросек.): Yandex (Время ожидания операции: нетекст)

[16:38:28] Всплило окно загрузки поисковой страницы №747 [3] (200020 микросек.): Yandex (Время ожидания операции: нетекст)

[16:39:03] Всплило окно загрузки поисковой страницы №752 [3] (200013 микросек.): Yandex (Время ожидания операции: нетекст)

[16:39:12] Всплило окно загрузки поисковой страницы №757 [3] (200013 микросек.): Yandex (Время ожидания операции: нетекст)

[16:39:43] Всплило окно загрузки поисковой страницы №762 [3] (200029 микросек.): Yandex (Время ожидания операции: нетекст)

[16:32:07] Всплило окно загрузки поисковой страницы №767 [3] (200045 микросек.): Yandex (Время ожидания операции: нетекст)

[16:32:07] **тип: over - в Службах**

[16:32:07] **ИИ, ИА, ИИ: Угнана, стоимость может быть определена**
некорректно! (близко к ошибке: 23%)

[16:32:07] **длина: 83%** ⁴ (Проверено подстановок: 0%)

Проверку на плагиат проведено AntiPlagiarism.NET, мастерской работы Прицено Л.В.,
 провів зав. каб. проф. ТІАБ Чаміров В.М.

02.12.2019р



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний інститут

(повне найменування інституту, факультету)

Технології машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(світлий/темний колір)

на тему ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИСОКОШВИДКІСНОГО
ФРЕЗЕРУВАННЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи МЗ-118м

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

Прищепо І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Логомінов В.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кондратюк Е.В.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет _____

Кафедра _____

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) _____

Напрямок підготовки _____

(код і назва)

Спеціальність _____

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

“ ____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) _____

керівник проекту (роботи) _____

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, почесне звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ 20__ року № ____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

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

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка

(підпис) **Студент** _____
 (прізвище та ініціали)
 (підпис) **Керівник проекту (роботи)** _____
 (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 120 с., 25 рис., 17 табл., 2 додатки, 14 джерел.

Об'єкт дослідження – стінка задня дифузора компресора двигуна AI-450M.

Мета роботи – вдосконалення технологічного процесу виготовлення стінки заднього дифузора двигуна AI-450M.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний.

В магістерській роботі спроектовано технологічний процес виготовлення деталі, вибрано і економічно обгрунтовано метод отримання заготовки, обрано обладнання, інструмент, розраховані режими різання, норми часу, спроектовані три операції на верстатах з числовим програмним керуванням, спроектовано робоче та контрольне пристосування, розглянуті методи автоматизації в операціях технологічного процесу, виконане спеціальне завдання на технологічних особливостей високошвидкісного фрезерування, деталь розрахована на міцність, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

СТІНКА ЗАДНЯ ДИФУЗОРА, ЗАГОТОВКА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВИСОКОШВИДКІСНЕ ФРЕЗЕРУВАННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, НОРМУВАННЯ, NX CAM, ПРИСТОСУВАННЯ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

РТК	Розрахунково-технологічна карта
КГПШ	Кривошипно-горячештампувальний прес
МОП	Маршрут обробки поверхні
КП	Керуюча програма
ППД	Поверхнево-пластична деформація
ПШТК	Послідовність показників точності і якості
МОР	Мастильно-охолоджуюча рідина
ТО	Термічна обробка
ТП	Технологічний процес
ТВ	Технічні вимоги
ХТО	Хіміко-термічна обробка

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	5
ВСТУП.....	8
І Технологічна частина.....	9
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі	9
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	11
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	12
1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі	17
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність	17
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	22
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	26
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	30
1.6 Розрахунок режимів різання.....	36
1.6.1 Операція 35 – Токарна	36
1.6.2 Операція 40 – Свердлильна.....	48
1.6.3 Операція 50 – Фрезерна	54
1.6.4 Операція 75 – Токарна	56
1.7 Технічне нормування операцій	59
1.8 Розробка трьох технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК	64
1.8.1 Розробка токарної операції.....	64
1.8.2 Розробка свердлильної операції.....	69
1.8.3 Розробка фрезерної операції	73
2 Конструкторська частина	76
2.1 Проектування робочого пристосування	76
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	76

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність	78
2.2 Проектування контрольного пристосування	84
3 Засоби автоматичного контролю розмірів	85
3.1 Пневматичні засоби вимірювання	85
2.2 Електроконтактні засоби вимірювання	89
3.3 Індуктивні і ємнісні засоби вимірювання	92
3.4 Механотрони	95
2.5 Фотоелектричні і радіоактивні вимірювальні засоби	96
3.5 Контрольні автомати	100
3.7 Координатно-вимірювальні машини	102
3.8 Цифрові прилади	104
3.9 Висновки	107
4 Розрахунок деталі на міцність	109
5 Спеціальне завдання. Високошвидкісне та надшвидкісне різання	112
5.1 Особливості стружкоутворення	115
5.2 Сили і потужність різання	119
5.3 Температура різання	121
5.4 Зношування і стійкість інструменту	127
5.5 Продуктивність обробки	131
5.6 Висновки	132
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки або заходів	134
7 Охорона праці	140
7.1 Аналіз потенційних небезпек	140
7.2 Заходи по забезпеченню безпеки	142
7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	146
7.4 Заходи з пожежної безпеки	148
7.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях	154
Висновок	158
Перелік посилань	159

ВСТУП

При переході машинобудівного виробництва в ринкову економіку перед ним постають безліч різних завдань і питань, які потребують негайного і правильного їх вирішення.

Зростаюча конкуренція серед виробників продукції вимагає в мінімальні терміни, максимальної якості з найменшою собівартістю обробки виробу.

Собівартість виробу в значній мірі залежить від використання прогресивних технологічних процесів на виробництві продукції, застосування відповідно прогресивного технологічного обладнання та скорочення тривалості виробничого циклу і виготовлення деталі.

Все вищевказане відноситься и до виготовлення різального інструменту, який забезпечує як продуктивність, так и точність обробки. При цьому , як правило, різальний інструмент у тому числі протяжки є дорогим. Тому активним завданням є зниженням його собівартості.

Метою магістерської роботи є визначення шляхів підвищення ефективності виготовлення протяжок. Для цього треба вирішити наступні завдання: визначення способу отримання заготовки, розрахунок припусків, режими різання, призначення обладнання різального інструменту, що забезпечують підвищують ефективність виготовлення різального інструменту.

І ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

І.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Стінка задня є частиною лопаткового дифузора компресора двигуна AI-450M.

Двигун AI-450M призначений для легких вертольотів і літаків в класі злітної ваги 1500-4000 кг і може бути використаний у складі як дводвигунових, так і одновдвигунових силових установок літальних апаратів.

При розробці технічного проєкту двигуна AI-450 закладалися такі основоположні принципи:

забезпечення високого рівня тактико-технічних, експлуатаційних і економічних характеристик двигуна;

– скорочення обсягів витрат і термінів на створення, експериментальне доведення і сертифікацію двигуна;

– скорочення термінів на впровадження двигуна в серійне виробництво.

Експлуатація двигуна в якості силової установки гвинтокрила на початковому етапі регулярної експлуатації повинна виконуватися з фіксованими значеннями ресурсних показників з постійним переходом на експлуатацію за технічним станом.

Дифузор призначений для зменшення швидкості повітря на вході в камеру згоряння і забезпечення стабільності повітряного потоку.

Розподіл повітря по каналах дифузора вибрано з умови розподілу швидкостей на виході з направляючого апарату компресора. Крайні канали пропускають приблизно по 30% повітря. Середній канал пропускає приблизно 40% повітря з геометричним кутом розкриття в 1,5 : 1,65 разів більший ніж кути розкриття крайніх каналів.

Стінка задня дифузора (рис.1.1) виготовляється із Сталі 14X17H2.

Стінка задня дифузора має габаритні розміри $\varnothing 350$ і ширину 41,25 мм та являє собою диск з розташованими на ньому лопатками. На робочому кресленні представлені всі розміри деталі і технічні вимоги на виготовлення стінки, включаючи вимоги по термообробці і контролю якості.

Матеріал стінки задньої дифузора сталь 14X17H2 відноситься до корозійностійким нержавіючим сталям, хімічний склад і механічні властивості якої наведені в табл.1.1 і 1.2.

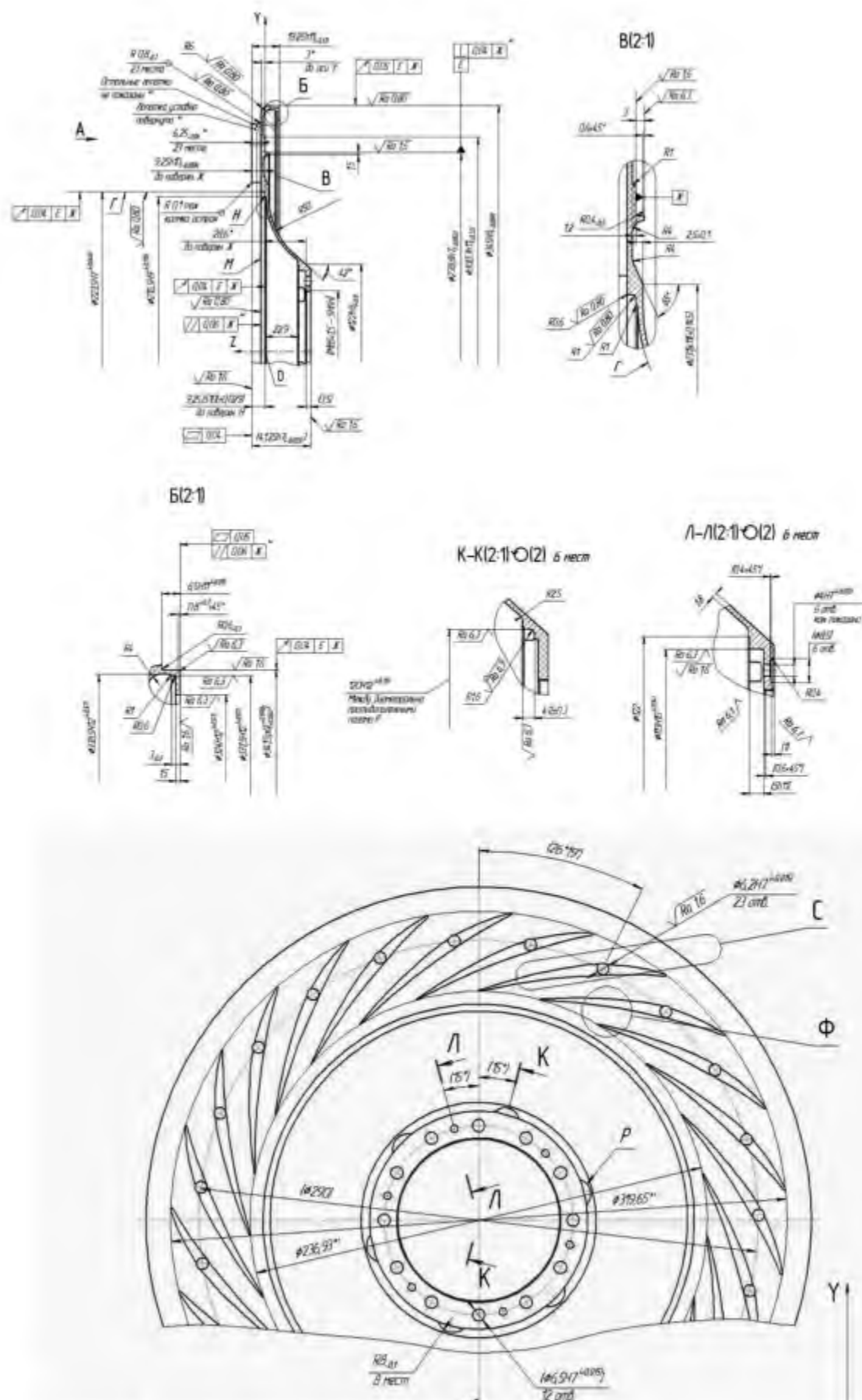


Рисунок 1.1 – Стінка задня дифузора

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 14X17H2 ГОСТ 5632-72, мас. %

С	Si	Cr	Ni	Mn	S. не більше	P. не більше
0,11-0,17	0-0,8	16-18	1,5-2,5	0-0,8	0,025	0,03

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 14X17H2 ГОСТ 5632-72, не менше

Тимчасовий опір розриву, МПа	1080
Межа текучості, МПа	835
Відносне подовження, %	10
Відносне звуження, %	30
КСУ, Дж/см ²	49

Робоче креслення деталі містить всі необхідні відомості, що дають повне уявлення про конструкцію деталі, тобто наявність всіх необхідних проекцій, розрізів, перетинів. На кресленні вказані всі розміри з відхиленнями, шорсткості оброблюваних поверхонь, допустимі відхилення від правильної геометричної форми, а також від взаємного положення поверхонь. Креслення містять відомості про матеріал деталі, термообробці, захисних покриттів, масі деталі.

Креслення деталі містить всі відомості необхідні для проектування технологічного процесу. Креслення деталі виконаний згідно стандарту СТ РЕВ 1181-78.

Розміри на кресленні проставлені в повному обсязі, грамотно і згідно ГОСТ 2,307-68 дозволяють застосовувати принцип єдності баз. Граничні відхилення розмірів на кресленнях наведені згідно з ГОСТ 25346-82. Допуски форми та розташування поверхонь виконані по ГОСТ 2,308-79. Шорсткість на кресленнях проставлена згідно ГОСТ 2,309-73.

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Тип виробництва визначається за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності, обсягів випуску виробів і їх маси. Згідно з вихідними

даними: річна програма випуску $N=10\,000$ шт.; маса деталі $m=2,6$ кг, згідно [1, с.22, табл.2.2] визначасмо тип виробництва – серійне.

Форма організації робіт на ділянці встановлюють залежно від принципу розміщення робочих місць і характеру переміщення оброблюваних заготовок з урахуванням рівномірності або кратності тривалості кожної операції, такту випуску.

У зв'язку з серійним типом виробництва найбільш зручно буде застосувати змінно-потоккову форму організації виробництва, при якій деталі надходять на ділянку партіями, але обробка їх здійснюється поточковим методом. Обсяг партії заготовок, що запускаються у виробництво, визначається за формулою (1.1):

$$n = \frac{a \cdot N}{250} = \frac{8 \cdot 10\,000}{250} = 320 \text{ шт.} \quad (1.1)$$

де $a=8$ днів – періодичність запуску деталей у виробництво,

$N=10000$ шт – річна програма випуску деталі.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Виходячи з конструкції деталі, її розмірів і призначення, заготовку можна отримати штампуванням на кривошипному горячештамповочних пресі (КГШП) або штампуванням на молотах. Остаточний метод отримання заготовки приймається після комплексного економічного розрахунку собівартості кожної заготовки.

Розглянемо перший метод отримання заготовки – кування на молотах.

Поковка відноситься до V-ї групи поковок [1, с. 102]. Припуски і допуски визначаємо по ГОСТ 7829-70 «Поковки з вуглецевої і легированої сталі, що виготовляються на молотах» [2]. За табл. 1 [2] визначаємо тип поковки – диск з отвором. В цьому випадку припуски і допуски визначаються по табл. 7 [2]. Призначаємо припуски і граничні відхилення і виконуємо ескіз поковки (рис. 1.2).

Масу заготовки визначасмо в програмі КОМПАС 3D, попередньо побудувавши її тривимірну модель. $M_0=20,3$ кг.

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{BM} = \frac{q}{Q}, \quad (1.2)$$

$$K_{BM} = \frac{2,6}{20,3} = 0,128.$$

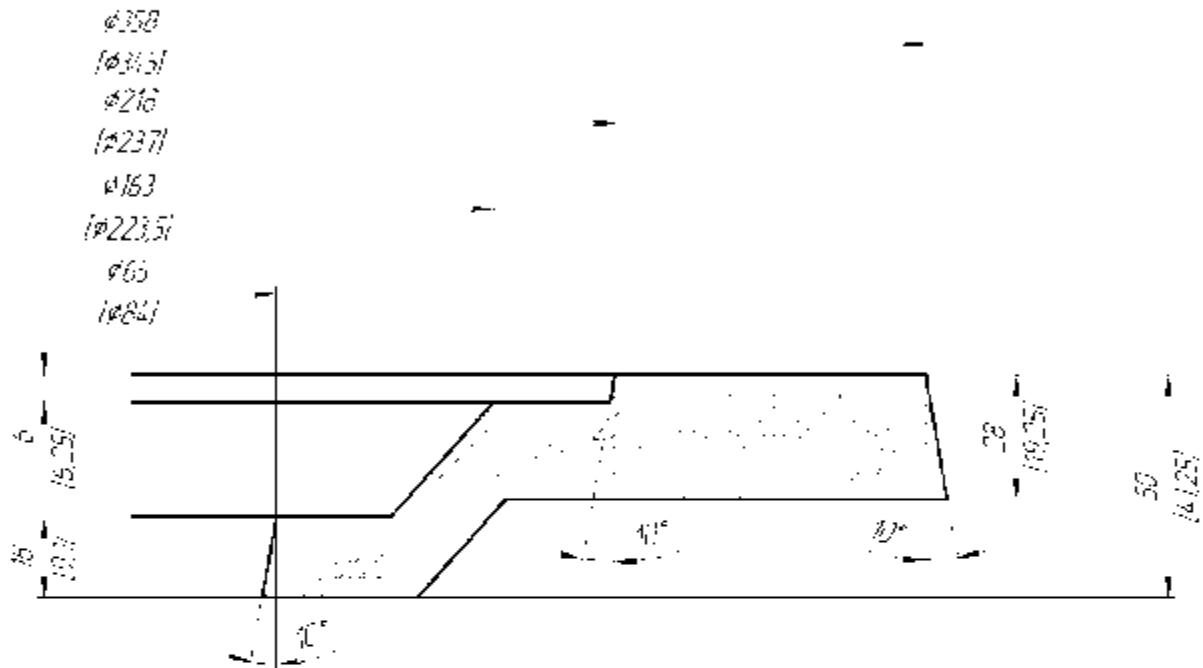


Рисунок 1.2 – Ескіз заготовки-поковки на молотах

Визначасмо попередню собівартість заготовки, отриманої куванням на молотах. Оцінку вартості визначаємо за формулою [3]:

$$B_z = \frac{B_B}{1000} M_z \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_z \cdot K_{II} - (M_z - M_d) \frac{B_{\text{відх}}}{1000}, \quad (1.3)$$

де M_z , M_d – маса заготовки і готової деталі;

B_B – базова собівартість виготовлення заготовок, грн.;

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки;

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі;

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки;

K_z – коефіцієнт, що враховує масу заготовки;

K_{II} – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки;

$B_{\text{відх}} = 2160$ грн – вартість відходів (стружка).

$$B_3 = \frac{670\,000}{1000} \cdot 20,3 \cdot 1,05 \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 - (20,3 - 2,6) \frac{2160}{1000} = 20\,527 \text{ грн,}$$

де $K_T = 1,05$ – за [3], с. 18, табл. 1.24 для 4-го класу точності поковки;

$K_M = 1,8$ – за [3], с. 18, табл. 1.25 для високолегованої сталі;

$K_C = 1$ – за [3], с.18, табл. 1.26 для високолегованої сталі та 3-го ступеня складності;

$K_3 = 0,8$ – за [3], с. 19 табл. 1.27 для високолегованої сталі і при масі заготовки 10-25 кг;

$K_P = 1,0$ – по [3], с. 19 табл. 1.28 при програмі випуску 8000 шт;

Дані заносимо в табл. 1.3.

Розглянемо другий варіант отримання заготовки. На КІПІІІ отримують поковки складної форми масою до кількох сотень кілограм, ближчі за формою до готової деталі з більш точними розмірами, ніж при штампуванні на молотах. Більш досконала конструкція штампів забезпечує меншу величину зміщення половинок штампа, зменшення припусків, напусків, штампувальних нахилів, допусків і, як наслідок – збільшення коефіцієнта використання металу [1].

Визначимо характеристики штамованої заготовки по ГОСТ 7505-89. Розрахункова маса поковки:

$$M_3 = K_p \cdot M_d = 2,6 \cdot 2,2 = 5,72 \text{ кг,} \quad (1.4)$$

де $K_p = 2,2$ – розрахунковий коефіцієнт (ГОСТ 7505-89, дод. 3).

Клас точності – Т3 (ГОСТ 7505-89, дод. 1). Група сталі – М3 (ГОСТ 7505-89, табл. 1). Сумарна масова частка легуючих елементів: 20,6% (17 % Cr; 2 % Ni; 0,8 % Si; 0,8 % Mo).

Ступінь складності – С4 (ГОСТ 7505-89, дод. 2), оскільки у поковки є тонкостінні елементи із співвідношенням $\frac{L}{D} < 0,2$ та $l < 25$ мм (де D – найбільший розмір тонкого елемента, l – товщина тонкого елемента).

Конфігурація поверхні рознімання штампа П (плоска) (ГОСТ 7505-89 табл. 1).

Вихідний індекс – 15 (ГОСТ 7505-89 табл. 2).

Визначасмо припуски. Основні припуски (на сторону) на розміри (ГОСТ 7505-89 табл. 3):

– на розмір 41,25 мм – 2,5 мм.

- на розмір 19,25 мм – 2,0 мм.
- на розмір 1,8 мм – 2,0 мм.
- на розмір $\varnothing 345$ мм – 3,0 мм.
- на розмір $\varnothing 122$ мм – 2,5 мм.
- на розмір $\varnothing 85$ мм – 2,3 мм.

Додаткові припуски, що враховують:

допустиме зміщення по поверхні розпімання штамп 0,8 мм (ГОСТ 7505-89 табл. 9);

- відхилення від площинності – 1,2 мм (ГОСТ 7505-89 табл. 5).

Штамповочные уклоны (ГОСТ 7505-89 табл. 18):

- на зовнішній поверхні – не більше 5° , приймається 5° ;
- на внутрішній поверхні – не більше 7° , приймається 7° .

Розміри поковки і їх допустимі відхилення (рис. 1.3). Розміри поковки:

- а) $41,25 \text{ мм} + 2 \cdot (2,5 + 0,2) = 46,45$. Округляємо до 46,5 мм.
- б) $19,25 \text{ мм} + 2,5 + 2,0 + 2 \cdot 0,2 = 24,15$ мм. Округляємо до 24 мм.
- в) $1,8 + 2,0 + 2,0 + 2 \cdot 0,2 = 6,2$ мм. Округляємо до 6 мм.
- г) $\varnothing 345 \text{ мм} + 2 \cdot (3,0 + 0,3) = \varnothing 350,6$ мм. Округляємо до 351 мм.
- д) $\varnothing 122 + 2 \cdot 2,5 = \varnothing 127$ мм.
- е) $\varnothing 85 + 2 \cdot (2,3 + 0,3) = \varnothing 79,8$. Округляємо до $\varnothing 80$ мм.

Радіус заокруглення – 2,0 мм (мінімальний) приймається 3,0 мм (ГОСТ 7505-89 табл. 7). Допустимі відхилення розмірів (ГОСТ 7505-89 табл. 8).

- а) $\varnothing 351 \text{ мм} \begin{matrix} +0,5 \\ -0,5 \end{matrix}$,
- б) $\varnothing 326 \text{ мм} \begin{matrix} +0,5 \\ -0,5 \end{matrix}$,
- в) $\varnothing 218,5 \text{ мм} \begin{matrix} +0,5 \\ -0,5 \end{matrix}$,
- г) $\varnothing 122 \text{ мм} \begin{matrix} +0,4 \\ -0,2 \end{matrix}$,
- д) $\varnothing 108 \text{ мм} \begin{matrix} +0,4 \\ -0,4 \end{matrix}$,
- е) $\varnothing 80 \text{ мм} \begin{matrix} +0,4 \\ -0,4 \end{matrix}$,
- ж) $46,5 \text{ мм} \begin{matrix} +0,4 \\ -0,4 \end{matrix}$,
- з) $24 \text{ мм} \begin{matrix} +0,4 \\ -0,4 \end{matrix}$,
- и) $17,5 \text{ мм} \begin{matrix} +0,4 \\ -0,4 \end{matrix}$,
- к) $14 \text{ мм} \begin{matrix} +0,4 \\ -0,4 \end{matrix}$,
- л) $8,2 \text{ мм} \begin{matrix} +0,4 \\ -0,4 \end{matrix}$.

м) 7,5 мм – $\pm 0,1$.

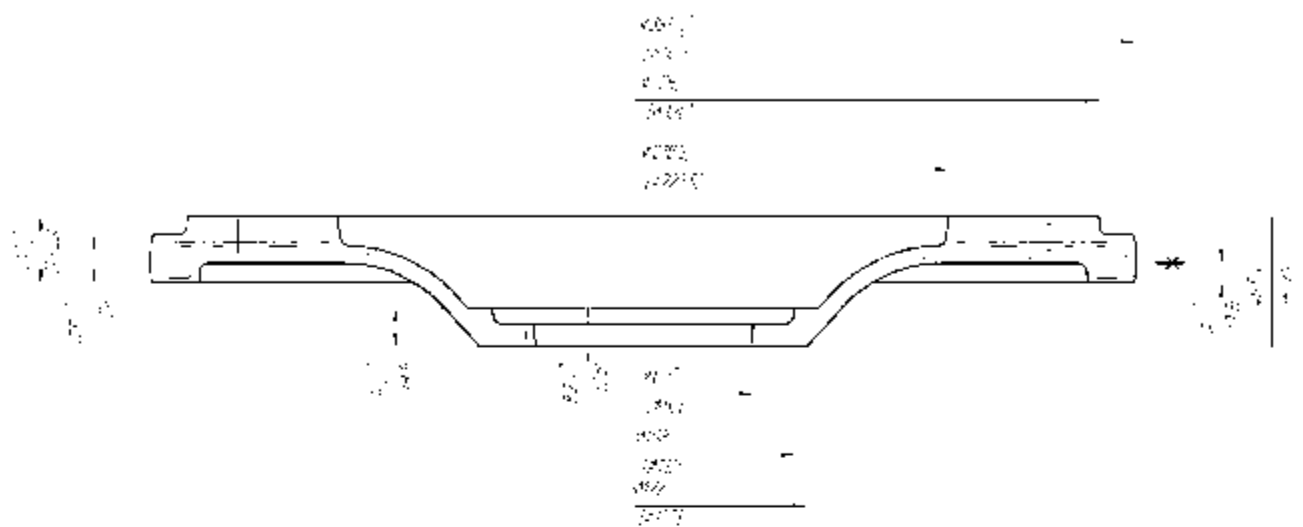


Рисунок 1.2 Бекіз заготовки-штамповки на КГШП

Незазначені граничні відхилення розмірів – по ГОСТ 7505-89 п. 5.5.

Незазначені допуски радіусів закрутлення – по ГОСТ 7505-89 п. 5.23.

Допустима величина залишкового облю 0,9 мм – по ГОСТ 7505-89 п. 5.8.

Допустиме відхилення від концентричності пробитого отвору щодо зовнішнього контуру поковки 1,5 мм (ГОСТ 7505-89 табл. 12).

Допустима величина висоти задирки 10,0 мм по ГОСТ 7505-89 п. 5.10.

Масу заготовки визначасмо в програмі КОМПАС 3D, попередньо побудувавши її тривимірну модель.

M_0 10,1 кг.

Коефіцієнт використання матеріалу за формулою (1.2):

$$K_{BM} = \frac{2,6}{10,1} = 0,257.$$

Визначаємо попередню собівартість заготовки, отриманою штампуванням на КГШП за формулою (1.3):

$$B_3 = \frac{681\,920}{1000} \cdot 10,3 \cdot 1,05 \cdot 1,8 \cdot 1,12 \cdot 0,8 \cdot 1 - (10,3 - 2,6) \frac{2160}{1000} = 11\,878 \text{ грн}$$

де де $K_T = 1,05$ – за [3], с. 18, табл. 1.24 для 4-го класу точності поковки;

$K_M = 1,8$ за [3], с. 18, табл. 1.25 для високолегованої сталі;

$K_c = 1,12$ – за [3], с.18, табл. 1.26 для високолегованої сталі та 3-го ступеня складності;

$K_z = 0,8$ – за [3], с. 19 табл. 1.27 для високолегованої сталі і при масі заготовки 10-25 кг;

$K_n = 1,0$ по [3], с. 19 табл. 1.28 при програмі випуску 8000 шт;

$V_{\text{відх}} = 2160$ грн – вартість відходів (стружка).

Дані заносимо в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 Порівняльні показники за варіантами

Показники	Позначення	Одиниці виміру	Варіант	
			1	2
Припуск на сторону	z	мм		7,5
Маса деталі	M_d	кг	2,6	
Маса заготовки	M_z	кг	10,1	20,3
Базова ціна за 1т заготовки	B_b	грн.	681920	670000
Коефіцієнти	K_M		1,8	1,8
	K_T		1,05	1,05
	K_c		1,0	1,12
	K_z		0,8	0,8
	K_n		1,0	1,0
Вартість 1т стружки	$V_{\text{відх}}$	грн.	2160	2160
Вартість 1 заготовки	B_z	грн.	11878	20526,5
Коефіцієнт використання матеріалу	η		0,257	0,128

1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Згідно ГОСТ-14.205-83 «Технологічність конструкції виробів. терміни та визначення» технологічність – це сукупність властивостей конструкції виробу, що визначають його пристосованість до досягнення оптимальних витрат при виробництві, технічному обслуговуванні і ремонту для заданих показників якості, обсягу випуску і умов виконання робіт.

Кількісну оцінку технологічності конструкції деталі можна проводити за такими коефіцієнтами.

Коефіцієнтом використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{M_d}{M_z}, \quad (1.5)$$

де M_d – маса деталі за кресленням, кг; M_z – маса матеріалу заготовки з неминучими технологічними витратами, кг;

Коефіцієнтом точності обробки деталі:

$$K_{\text{т.о.}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{ср.}}} \geq 0,8, \quad (1.6)$$

де $A_{\text{ср.}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}$ середній квалітет точності деталі;

n – кількість розмірів відповідного квалітету;

A_i – квалітет точності i -ї поверхні;

Коефіцієнт шорсткості поверхонь деталі:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{ср}}} < 0,32, \quad (1.7)$$

де $B_{\text{ср.}} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}$ середнє значення показника шорсткості,

B_i – значення показника шорсткості i -ої поверхні;

n_i – кількість поверхонь за відповідний показник шорсткості;

Для оцінки технологічності необхідно мати інформацію про формотворчих поверхнях деталі. На рис. 1.3 показана розмітка поверхонь деталі, а в табл. 1.3 подано інформацію про їх параметрах точності і шорсткості.

Визначимо характеристики технологічності деталі. Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{2,6}{10,1} = 0,257.$$

Середній квалітет точності деталі:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{ср}} &= \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^n n_i} = \\
 &= \frac{2 \cdot 6 + 6 \cdot 7 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 9 + 6 \cdot 10 + 5 \cdot 11 + 7 \cdot 12 + 1 \cdot 13 + 15 \cdot 14}{44} = \\
 &= \frac{493}{44} = 11,2
 \end{aligned}$$

Коефіцієнт точності обробки деталі:

$$K_{\text{т.о.}} = 1 - \frac{1}{11,2} = 0,91 \geq 0,8.$$

За коефіцієнтом точності деталь технологічна.

Середнє значення показника шорсткості:

$$B_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^n n_i} = \frac{3 \cdot 0,8 + 7 \cdot 1,6 + 30 \cdot 3,2 + 4 \cdot 6,3}{44} = 3,064.$$

Коефіцієнт шорсткості поверхонь деталі:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{3,064} = 0,326 > 0,32.$$

За показником шорсткості деталь нетехнологічна.

Деталь виготовляється із Сталі 14X17H2 ГОСТ 5632-72. Матеріал відноситься до Х-ї групи оброблюваних матеріалів (корозійно-стійкі, жаростійкі і жароміцні деформовані сталі), тобто до важкооброблюваних матеріалів. Коефіцієнт оброблюваності по відношенню до Сталі 12X18H10T дорівнює $K_{\text{вм}} = 1$. З точки зору оброблюваності деталь є нетехнологічною.

За критерієм коефіцієнта використання матеріалу деталь нетехнологічна, так як в процесі обробки необхідно знімати великий обсяг матеріалу, що істотно впливає на трудомісткість і собівартість виготовлення деталі.

Виходячи з умов базування, деталь є нетехнологічною, так як на багатьох операціях не використовується принцип сталості і суміщення баз, коли вимірювальна і настроювальна бази співпадають. На більшості операцій необхідно застосовувати спеціальні верстатні пристосування.

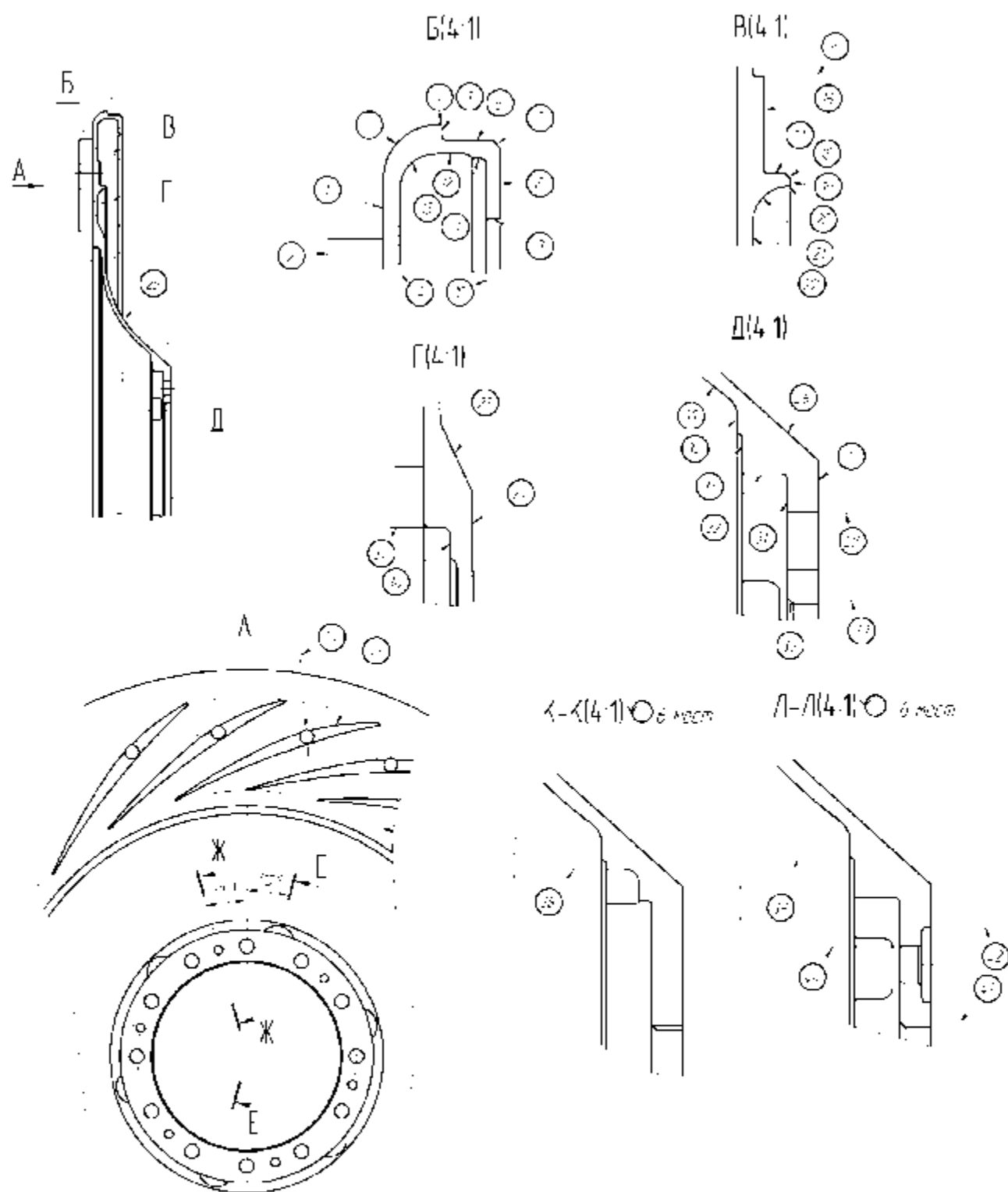


Рисунок 1.3 – Ескіз деталі з розміткою поверхонь

Таблиця 1.3 – Точність і шореткість поверхонь

№	Розмір, мм	І граничні відхилення, мм	Квалітет	Шореткість Ra, мкм
1	6,25	-0,06	h10	3,2
2	9,25	-0,058	h10	3,2
3	R6	$\pm 0,15$	js14	0,8
4	Ø345	-0,089	h8	0,8
5	6	-0,09	H11	3,2
6	Ø341,5	+0,098 +0,062	p6	1,6
7	0,8×45°	+0,3	H14	6,3
8	19,25	-0,13	h11	1,6
9	Ø324	+0,57 +0,57 0	H12	3,2
10	1,5	-0,25	h14	3,2
11	Ø337,5	+0,57	H12	6,3
12	Ø338,5	+0,57	H12	3,2
13	R4	$\pm 0,15$	js14	3,2
14	1,2	$\pm 0,125$	js14	3,2
15	Ø300,3	-0,32	h11	3,2
16	9,25	$\pm 0,029$	js10	1,6
17	Ø278,8	-0,052	h7	1,6
18	0,6×45°	$\pm 0,05$	js12	3,2
19	3	$\pm 0,125$	js14	6,3
20	1,5	$\pm 0,125$	js14	3,2
21	R4	$\pm 0,15$	js14	3,2
22	1,2	$\pm 0,125$	js14	3,2
23	Ø231	$\pm 0,145$	js11	3,2
24	2,5	$\pm 0,1$	js13	3,2
25	R50	$\pm 0,31$	js14	3,2
26	Ø122	-0,1	h9	3,2
27	41,25	-0,025	h7	3,2
28	Ø6,5	+0,015	H7	3,2

Продовження табл. 1.3

29	M85×1,5	-	5H6H	3,2
30	0,6×45°	±0,15	js12	3,2
31	3,5	±0,15	js14	3,2
32	Ø113	+0,14	H10	6,3
33	5	-0,075	h11	3,2
34	22,9	±0,26	js14	3,2
35	1,8	±0,125	js14	3,2
36	9,25	±0,029	JS10	1,6
37	Ø223	+0,046	H7	3,2
38	120	+0,35	H12	3,2
39	Ø122	±0,5	JS14	3,2
40	Ø4	+0,012	H7	1,6
41	0,4×45°	±0,05	js12	3,2
42	Ø8,5	±0,18	JS14	3,2
43	-	-0,06	h10	0,8
44	Ø6,2	+0,015	H7	1,6

З точки зору жорсткості конструкції деталь нетехнологічна, так як вона нежорстка. Цю деталь неприпустимо обробляти на нормативних режимах різання, конструкція деталі вимагає зниження режимів різання або установки долаткових опор.

Виходячи з вищевказаних кількісних і якісних характеристик можна зробити висновок, що в цілому деталь нетехнологічна.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Зовнішня циліндрична поверхня 6 $\varnothing 41,5p6^{+0,098}_{+0,062}$.

Характеристики поверхні деталі:

Допуск $Td_d = 0,036$ мм, що відповідає полю допуску $p6$.

– Шорсткість – $Ra_d = 1,6$ мкм.

Допуск і шореткість для заготовки (див. підрозділ 1.3):

$es_{d3} = +3,0$ мм; $ei_{d3} = -1,5$ мм; $Td_3 = -1,5$ мм; $Ra_3 = 50$ мкм.

Розраховуємо необхідні уточнення:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} = \frac{4500}{36} = 125, \quad (1.8)$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} = \frac{50}{1,6} = 31,25. \quad (1.9)$$

По найбільшому необхідному уточненню визначаємо кількість технологічних переходів:

$$\varepsilon_{Ra} = 2 \lg \varepsilon_d = 2 \lg 125 = 4,19. \quad (1.10)$$

Приймаємо $K_d = 4$.

Знаходимо різницю показників:

- по точності $IT16 \rightarrow IT6$ ($IT16 \rightarrow IT13 \rightarrow IT10 \rightarrow IT8 \rightarrow IT6$).

- по шореткості: ($Ra50 \rightarrow Ra25 \rightarrow Ra12,5 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow Ra1,6$).

Призначаємо технологічні переходи. Точність і шореткість, яка забезпечується різними способами обробки, визначаємо по [3, табл. 2.6, с. 34].

Перший прохід – точіння чорнове, яке забезпечує $Td_1 = 890$ мкм та $Ra_1 = 25$ мкм. Уточнення:

$$\varepsilon_{d1} = \frac{4500}{890} = 5,06; \quad \varepsilon_{Ra1} = \frac{Ra_3}{Ra_d} = \frac{50}{25} = 2.$$

Другий перехід – точіння напівчистове, яке забезпечує $Td_2 = 230$ мкм та $Ra_2 = 12,5$ мкм. Уточнення:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{890}{230} = 3,87; \quad \prod_{j=1}^2 \varepsilon_{dj} = 5,06 \cdot 3,87 = 19,6;$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{25}{12,5} = 2; \quad \prod_{j=1}^2 \varepsilon_{dj} = 2 \cdot 2 = 4.$$

Третій перехід – точіння чистове, яке забезпечує $Td_3 = 89$ мкм та $Ra_3 = 3,2$ мкм. Уточнення:

$$\varepsilon_{d3} = \frac{230}{89} = 2,58; \prod_{j=1}^2 \varepsilon_{dj} = 5,06 \cdot 3,87 \cdot 2,58 = 50,5;$$

$$\varepsilon_{Ra3} = \frac{12,5}{3,2} = 3,9; \prod_{j=1}^2 \varepsilon_{dj} = 2 \cdot 2 \cdot 3,9 = 15,6.$$

Четвертий перехід – точіння тонке, яке забезпечує $Td_3 = 36$ мкм та $Ra_3 = 1,6$ мкм. Уточнення:

$$\varepsilon_{d4} = \frac{89}{36} = 2,47; \prod_{j=1}^2 \varepsilon_{dj} = 5,06 \cdot 3,87 \cdot 2,58 \cdot 2,47 = 124,7;$$

$$\varepsilon_{Ra4} = \frac{3,2}{1,6} = 2; \prod_{j=1}^2 \varepsilon_{dj} = 2 \cdot 2 \cdot 3,9 \cdot 2 = 31,2.$$

Аналогічні розрахунки проводимо для наступних поверхонь:

- зовнішня циліндрична поверхня 4 – $\varnothing 345h8_{-0,089}$;
- внутрішня циліндрична поверхня 37 – $\varnothing 223,5H7^{+0,046}$;
- торцева поверхня 27 – $25h7_{-0,025}$.

Отримані дані зводимо в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 План обробки основних поверхонь деталі

Номер поверхні, її характер і показники точності і якості	Показник j	Уточнення E _{j0}	Кількість перех. k		Різниця показників ППТЯ	МОП		Допуск		Уточнення	
			розрахункове	прийняте		i	Метод обробки	розмір, мм	Ra, мкм	розмір, мм	Ra, мкм
Пов. 6, нар. цил., Ø341,5p6, Ra 1,6. Загот. штамповка КГШП, Ø351 ^{+3,0} _{-1,5} , Ra=50.	d	125	4,2	4	IT16 > IT13 > IT10 > IT8 → IT6 Ra50 → Ra25 → Ra12,5 → Ra3,2 > Ra1,6.	1	Заготовка	4,5	50	-	-
	Ra	31,2				2	Точіння чорнове	0,89	25	5,06	2
						3	Точіння напівчистове	0,23	12,5	3,87	2
						4	Точіння чистове	0,089	3,2	2,58	3,91
						5	Точіння тонке	0,036	1,6	2,47	2
Пов. 4, нар. цил., Ø345h8, Ra 0,8. Загот. штамповка КГШП, Ø351 ^{+3,0} _{-1,5} , Ra=50.	d	50,6	3,6	4	IT16 > IT13 > IT10 > IT9 → IT8 Ra50 > Ra12,5 > Ra3,2 > Ra1,6 > Ra0,8.	1	Заготовка	4,5	50	-	-
	Ra	62,5				2	Точіння чорнове	0,89	12,5	5,06	4,00
						3	Точіння напівчистове	0,23	3,2	3,87	3,91
						4	Точіння чистове	0,14	1,6	1,64	2,00
						5	Точіння тонке	0,089	0,8	1,57	2,00
Пов. 37, внутр. цил., Ø223,5H7, Ra 0,8 Загот. – штамповка КГШП, Ø218,5 ^{+1,3} _{-2,7} , Ra=50.	d	87	3,9	4	IT16 → IT13 → IT10 → IT8 → IT7 Ra50 > Ra12,5 > Ra3,2 > Ra1,6 > Ra0,8.	1	Заготовка	4,0	50	-	-
	Ra	62,5				2	Точіння чорнове	0,72	12,5	5,56	4,00
						3	Точіння напівчистове	0,185	3,2	3,89	3,91
						4	Точіння чистове	0,072	1,6	2,57	2,00
						5	Точіння тонке	0,046	0,8	1,57	2,00
Пов. 27, наружн. плоска., 41,25h7, Ra 1,6. Загот. – штамповка КГШП, 46,5 ^{+2,1} _{-1,1} , Ra=50.	d	128	4,2	4	IT16 > IT13 > IT10 > IT8 → IT7 Ra50 → Ra25 → Ra12,5 → Ra3,2 > Ra1,6.	1	Заготовка	3,2	50	-	-
	Ra	31,2				2	Точіння чорнове	0,39	25	8,21	2
						3	Точіння напівчистове	0,1	12,5	3,90	2
						4	Точіння чистове	0,039	3,2	2,56	3,91
						5	Точіння тонке	0,025	1,6	1,56	2

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут обробки заготовки – це загальний план, в якому на основі компоновання раніше розробленого МОН, встановлюється склад і послідовність операцій технологічного процесу, вказані тип і модель верстата, наведені вихідні та остаточні характеристики оброблюваних поверхонь.

Вихідні дані:

- креслення деталі;
- річна програма випуску;
- дані про цільове призначення деталі;
- довідково-нормативні матеріали.

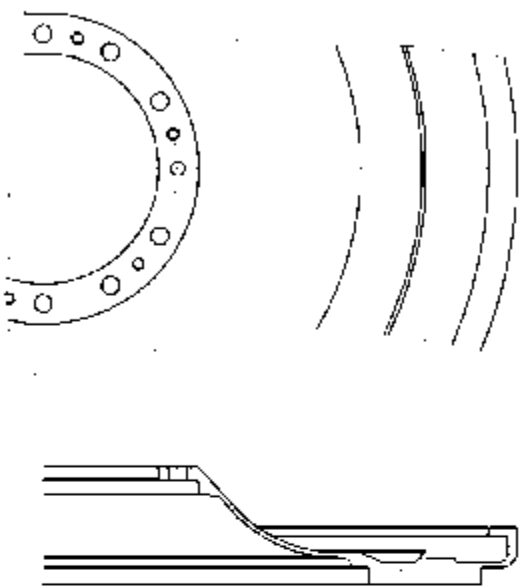
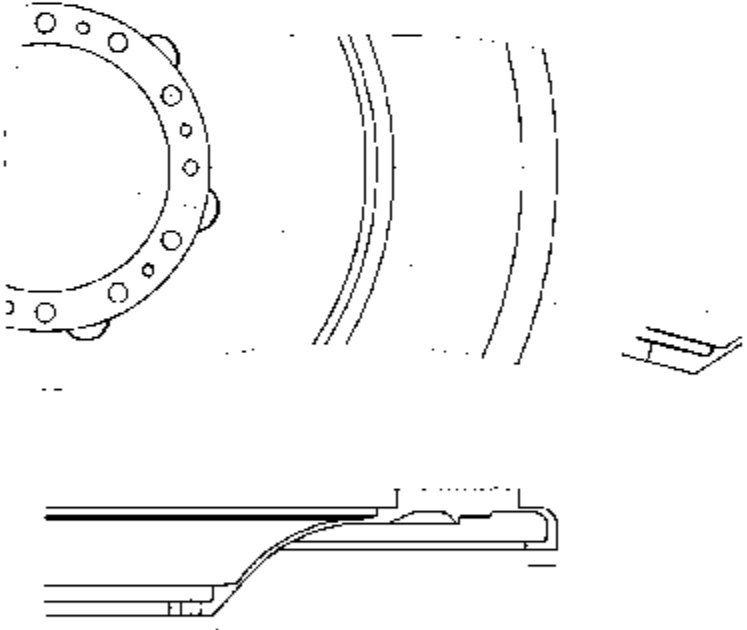
Таблиця 1.5 – Маршрут виготовлення деталі

№	Найменування операції і зміст переходу	Устаткування	Схема обробки
1	2	3	4
05	Заготівельна	Прес	Ra 80 
10 15	Термічна Токарна	Піч Токарно-гвинторізний 16K40	Ra 6,3 

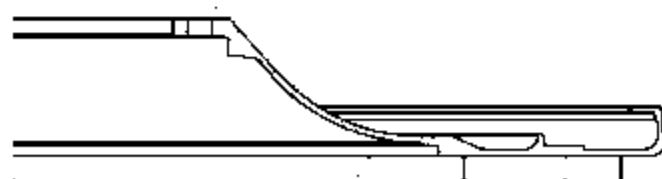
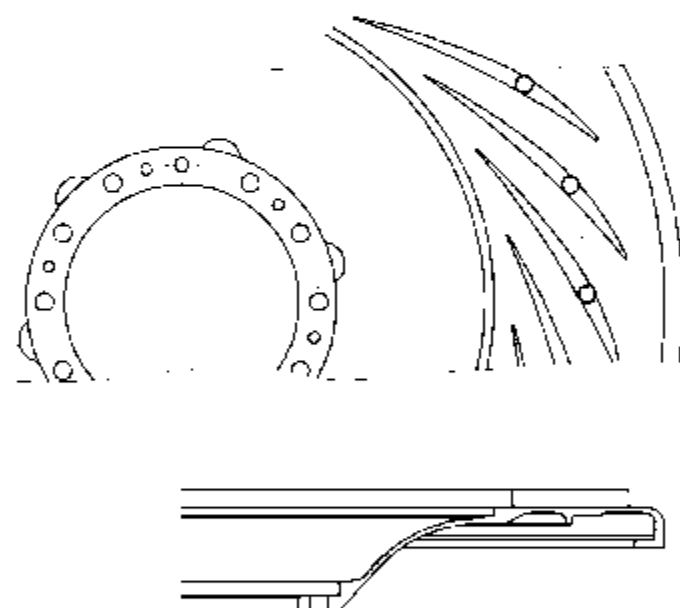
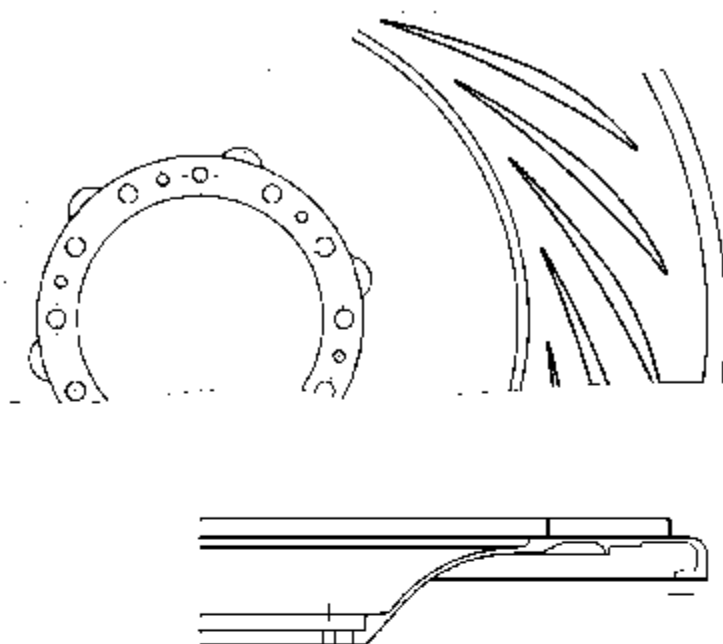
Продовження табл. 1.5

1	2	3	4
20	Токарна	Токарно-карусельний 16K40	Ra 6,3
25	Термічна	Піч	
30	Токарна	Токарно-карусельний SKJ-16	Ra 3,2
35	Токарна	Токарно-карусельний SKJ-16	Ra 3,2
40	Свердлильна	Радіально-свердильний 2M55	Ra 1,6

Продовження табл. 1.5

1	2	3	4	
45	Свердлильна	Радіально-свердлильний 2М55		Ra 1,6
50	Фрезерна	Вертикально-фрезерний 6P13		Ra 3,2

55	Фрезерна	Оброблювальний центр HURON KX 10	Ra 0,8
60	Свердильна	Радіально-свердильний 2M55	Ra 1,6
65	Слесарная	Верстак	
70	Токарна	Токарно-карусельний SKJ-16	Ra 1,6



Продовження табл. 1.5

1	2	3	4
75	Токарна	Токарно-карусельний SKJ-16	Ra 1.6 
80	Слюсарна	Верстак	
85	Мийна		
90	Контрольна	Контрольний стіл	

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розрізняють два методи призначення припусків. Перший – розрахунково-аналітичний. При призначенні припусків цим методом по довідковій літературі визначаються складові припуску: R_n , h , ρ , ε , виходячи з конкретних умов обробки і стану заготовки.

$$2Z_i^{min} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (1.12)$$

де Rz_{i-1} – шорсткість поверхні попереднього переходу;

h_{i-1} – глибина дефектного шару матеріалу від попередньої операції;

ρ_{i-1} – макронерівності поверхні (зміщення, жолоблення, неперпендикулярність, непаралельність і т.п.), отримані на попередньому переході;

ε_{i-1} – похибка установки заготовки при виконанні i -го переходу.

Похибки ρ та ε – векторні величини і мають різні напрямки, тому для циліндричних поверхонь підсумовуються геометрично.

Другий – дослідно-статистичний (табличний). Призначається загальний припуск і розбивається по переходах з використанням коефіцієнту співвідношення припусків γ .

Зовнішня поверхня обертання $\emptyset 345h8_{-0,089}$.

Припуски для поверхні $\emptyset 345h8_{-0,089}$ призначаємо розрахунково-аналітичним методом.

Вибираємо нормативні значення елементів найменших операційних припусків. Нормативні значення Rz та h вибираємо по [5, табл. 12, с. 186] та [5, табл. 25, с. 188].

Для тонкого точіння:

$$Rz_4 = 5 \text{ мкм}; h_4 = 5 \text{ мкм}.$$

Для чистового точіння:

$$Rz_3 = 25 \text{ мкм}; h_3 = 25 \text{ мкм}.$$

Для напівчистового точіння:

$$Rz_2 = 25 \text{ мкм}; h_2 = 25 \text{ мкм}.$$

Для чорнового точіння:

$$Rz_1 = 50 \text{ мкм}; h_1 = 50 \text{ мкм}.$$

Для заготовки:

$$Rz_3 = 200 \text{ мкм}; h_3 = 250 \text{ мкм}.$$

Розрахунок сумарного відхилення розташування поверхонь для заготовки виконується за формулою:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{км}}^2 + \Delta_y^2} = \sqrt{(\Delta_{\text{к}} \cdot e)^2 + (0,25 \cdot Td)^2}, \quad (1.13)$$

де $\Delta_{\text{к}}$ – мкм/мм береться з [5, табл. 16, с. 186], $e = 13 \text{ мм}$, $Td = 4500 \text{ мкм}$.

Тоді за формулою (1.13):

$$\Delta_{\Sigma \text{ заг}} = \sqrt{(1,2 \cdot 13)^2 + (0,25 \cdot 4500)^2} = 1125 \text{ мкм}.$$

Після чорнового точіння $\Delta_{\Sigma \text{ заг}}$ зменшується до значення:

$$\Delta_1 = K_y \cdot \Delta_{\Sigma \text{ заг}} = 0,06 \cdot 1,125 = 67,5 \text{ мкм}.$$

Коефіцієнт уточнення вибираємо з [5, табл. 29, с. 190].

Після напівчистового точіння:

$$\Delta_2 = K_y \cdot \Delta_1 = 0,05 \cdot 67,5 = 3,4 \text{ мкм}.$$

Після чистового точіння $\Delta_2 = 0$. Заносимо дані в табл. 1.6.

Значення похибки установки $\varepsilon = 0$.

$$2z_i^{min} = 2 \left[(Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right], \quad (1.14)$$

Для тонкого точіння:

$$2z_4^{min} = 2(25 + 25) = 100 \text{ мкм.}$$

Для чистового точіння:

$$2z_3^{min} = 2[25 + 25] = 100 \text{ мкм.}$$

Для напівчистового точіння:

$$2z_2^{min} = 2(50 + 50 + 67,5) = 335 \text{ мкм.}$$

Для чорнового точіння:

$$2z_1^{min} = 2(200 + 250 + 1125) = 4500 \text{ мкм.}$$

Записуємо в табл. 1.6 значення технологічних допусків Td_i , які беремо з [5, табл. 32, с. 192].

Розраховуємо номінальні припуски за формулою:

$$2z_i^H = 2z_i^{min} + Td_{i-1}, \quad (1.15)$$

$$2z_1^H = 100 + 89 = 189 \text{ мкм.}$$

$$2z_2^H = 100 + 230 = 330 \text{ мкм.}$$

$$2z_3^H = 335 + 890 = 1225 \text{ мкм.}$$

$$2z_4^H = 3150 + 4500 = 7650 \text{ мкм.}$$

Розраховуємо операційні виконавчі розміри, використовуючи формулу:

$$2d_i^H = 2d_i + z_i^H, \quad (1.16)$$

Для чистового точіння – $d_3^H = 345,189$ мм.

Для напівчистового точіння – $d_2^H = 345,519$ мм.

Для чорнового точіння – $d_1^H = 346,744$ мм.

Для заготовки – $d_0^H = 354,39$ мм.

Округлюємо ці значення d_i^H до знаку після коми, з яким поставлено допуск Td_i , і записавши граничні відхилення масмо операційний виконавчий розмір:

– для тонкого точіння – $\varnothing 345_{-0,036}$ мм;

– для тонкого точіння – $\varnothing 345,189_{-0,089}$ мм;

– для напівчистового точіння – $\varnothing 345,52_{-0,23}$ мм;

для чорнового точіння – $\varnothing 346,7_{-0,89}$ мм;

– для заготовки – $\varnothing 353,6^{+3,0}_{-1,5}$ мм.

Розраховуємо максимальні припуски за формулою:

$$2z_i^{max} = 2z_i^l + Td_i. \quad (1.17)$$

Для тонкого точіння – $2z_4^{max} = 0,225$ мм.

Для чистового точіння – $2z_3^{max} = 0,419$ мм.

Для напівчистового точіння – $2z_2^{max} = 1,455$ мм.

Для чорнового точіння – $2z_1^{max} = 8,540$ мкм.

Загальний номінальний припуск на обробку дорівнює:

$$2z_0^H = d_0^{zar} - (d_4^H + es_{d_4}) = 354,394 - (345 + 0) = 9,394 \text{ мм.} \quad (1.18)$$

Правильність розрахунку припусків виконуємо за формулою:

$$\begin{aligned} 2z_i^{max} - 2z_{i-1}^{max} &= Td_{i-1} + Td_i. \\ 2z_1^{max} - 2z_0^{max} &= 5390 \text{ мкм; } Td_0 + Td_1 = 5390 \text{ мкм.} \\ 2z_2^{max} - 2z_1^{max} &= 1120 \text{ мкм; } Td_1 + Td_2 = 1120 \text{ мкм.} \\ 2z_3^{max} - 2z_2^{max} &= 319 \text{ мкм; } Td_2 + Td_3 = 319 \text{ мкм.} \\ 2z_4^{max} - 2z_3^{max} &= 125 \text{ мкм; } Td_3 + Td_4 = 125 \text{ мкм.} \end{aligned} \quad (1.19)$$

На інші поверхні припуски розраховуємо табличним методом. Елементи припуску визначасмо, використовуючи [7]. Дані заносимо в табл. 1.6.

Таблиця 1.6 Припуски і розміри по технологічних переходах

План обробки поверхні	Елементи припуску, мкм				Розрахунко- вий (табличний) припуск $2z_i^{min}$, мкм	Допуск Td_i , мкм	Номінальний припуск $2z_i''$, мкм	Максимальний припуск $2z_i^{max}$, мкм	Розрахунко- вий номінальний розмір d_i , мм	Виконавчий операційний розмір
	Rz_i	h_i	Δ_i	ε_i						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Поверхня 4 – $\varnothing 345h8_{-0,089}$										
Заготовка	200	250	1125	-	-	4500	-	-	354,394	$\varnothing 353,6^{+3,0}_{-1,5}$
Точіння: чорнове	50	50	67,5	-	1575	890	7650	8540	346,744	$\varnothing 346,7_{-0,89}$
напівчистове	25	25	-	-	167,5	230	1225	1455	345,519	$\varnothing 345,52_{0,23}$
чистове	25	25	-	-	50	89	330	419	345,189	$\varnothing 345,189_{-0,089}$
тонке	5	5	-	-	50	36	189	225	345	$\varnothing 345_{-0,036}$
Поверхня 17 – $\varnothing 278,8h7_{-0,052}$										
Заготовка					-	3200	-	-	287,201	$\varnothing 288,3^{+2,1}_{-1,1}$
Точіння: чорнове					3200	810	6400	7210	280,801	$\varnothing 280,8_{-0,81}$
напівчистове					350	210	1160	1370	279,641	$\varnothing 279,64_{-0,21}$
чистове					350	81	560	641	279,081	$\varnothing 279,081_{-0,081}$
тонке					200	52	281	333	278,8	$\varnothing 278,8_{-0,052}$

Продовження табл. 1.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Поверхня 26 – $\varnothing 122h9_{0,1}$										
Заготовка					-	2500	-	-	128,68	$\varnothing 129,5^{+1,7}_{-0,8}$
Точіння: чорнове					3200	630	5700	6330	122,98	$\varnothing 122,98_{-0,63}$
чистове					350	100	980	1080	122	$\varnothing 122_{-0,1}$
Поверхня 27, 2 – $41,25 h7_{-0,025}$										
Заготовка					-	1600	-	-	51,156	$51,7^{+1,1}_{-0,5}$
Точіння: чорнове					2100	390	3700	4090	47,456	$47,5_{-0,39}$
чорнове					2100	390	2490	2880	44,966	$45,0_{-0,39}$
чистове					1100	62	1490	1552	43,476	$43,48_{-0,062}$
чистове					1100	39	1162	1201	42,314	$42,31_{-0,039}$
тонке					500	25	539	564	41,775	$41,775_{-0,025}$
тонке					500	25	525	550	41,25	$41,25_{-0,025}$
Поверхня 29 $\varnothing 223h7^{+0,046}$										
Заготовка					-	2500	-	-	240,577	$\varnothing 242,3^{+0,8}_{-1,7}$
Точіння: чорнове					3200	720	5700	6420	234,877	$\varnothing 234,88_{-0,72}$
напівчистове					350	185	1070	1255	233,807	$\varnothing 233,81^{+0,185}$
чистове					350	72	535	607	233,272	$\varnothing 233,272^{+0,072}$
тонке					200	46	272	318	233	$\varnothing 223^{+0,046}$

1.6 Розрахунок режимів різання

Матеріал оброблюваної деталі 14X17H2 ГОСТ 5632-72 відноситься до важкооброблюваних сталей II-ї групи «Корозійностійкі хромисті і складнолеговані сталі феритного, мартенситно-феритного і мартенситного класів». Тому режими різання будемо призначати за довідником «Режими різання важкооброблюваних матеріалів» [8].

В якості інструментальних матеріалів рекомендується [8, табл. 13, с. 56-57] використовувати для попереднього точіння твердий сплав ВК8, для напівчистового і чистового точіння – Т15К6. Для свердління – швидкорізальну сталь Р6М5, для фрезерування кінцевими фрезами – твердий сплав ВК10М.

Як МОР рекомендується [8, табл. 14, с. 58] використовувати 5%-ну емульсію з Емульсолу Укринол-І.

1.6.1 Операція 35 – Токарна

Верстат: токарно-карусельний з ЧПК SKJ-16.

Матеріал: Сталь 14X17H2. Твердість 23...32 HRC.

Операційний ескіз показаний на рис. 1.4.

Інструмент: для переходів 1, 2, 3, 5, 6, 7 – різець для контурного точіння з механічним кріпленням твердосплавних пластин ГОСТ20872-80 2101-0676: лівий, 40×32×200, $\varphi = 93^\circ$.

Для переходів 4, 8 – різець для контурного точіння з механічним кріпленням твердосплавних пластин ГОСТ 20872-80 2101-0675: правий, 40×32×200, $\varphi = 93^\circ$.

Інструментальний матеріал – для чорнових переходів – ВК8, для чистових – Т15К6.

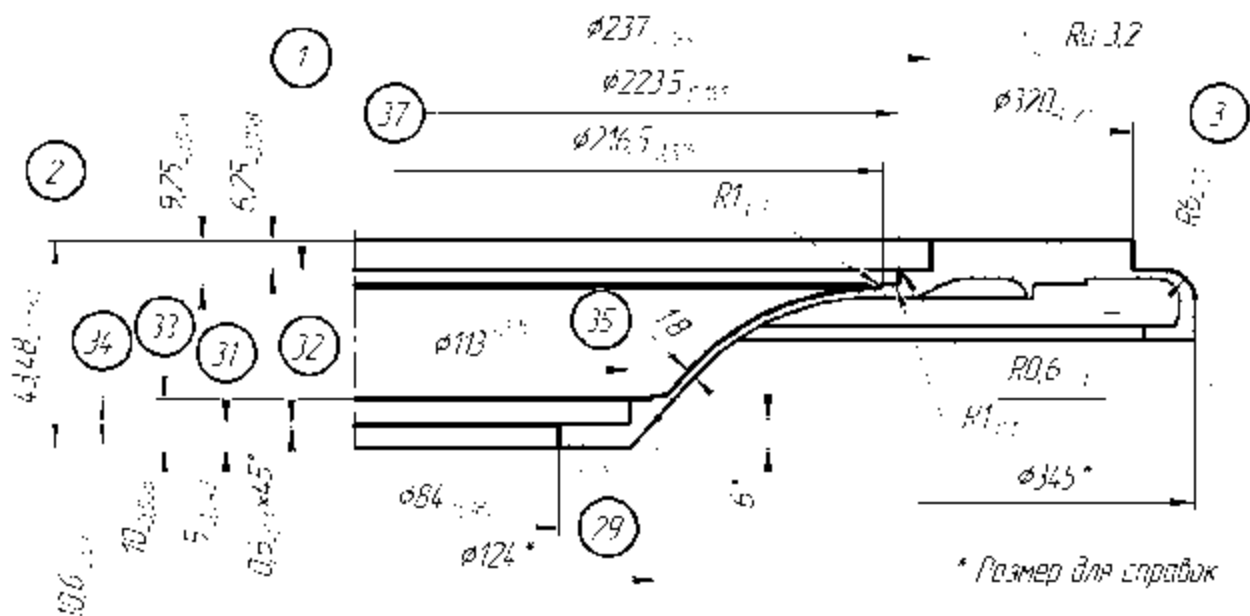


Рисунок 1.4 – Операційний ескіз

Перехід 1: точити поверхні 29, 31, 32 начорно.

Перехід 2: точити поверхні 33, 34, 35 начорно.

Перехід 3: точити поверхні 37, 1, 2 начорно.

Перехід 4: точити поверхні 1, 3 начорно.

Перехід 5: точити поверхні 29, 31, 32 начисто.

Перехід 6: точити поверхні 33, 34, 35 начисто.

Перехід 7: точити поверхні 1, 2 начисто.

Перехід 8: точити поверхні 1, 3 начисто.

Перехід 1.

Глибина різання $t = 1,5$ мм.

Табличне значення подачі: $S_{от} = 0,6$ мм/об [8, табл. 19, с. 68].

$$S_{от} = S_o \cdot K_S \quad (1.20)$$

$$S_{от} = S_o \cdot K_S = 0,6 \cdot 0,24 = 0,14 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання визначається за формулою:

$$v_p = \frac{C_v}{T^{0,35} \cdot S_o^{0,45} \cdot t^{0,15}} \quad (1.21)$$

Параметр $C_v = 580$ [8, с. 74]. Стійкість вибираємо $T = 30$ хв.

$$v_p = \frac{580}{30^{0,35} \cdot 0,14^{0,45} \cdot 1,5^{0,15}} = 111,5 \text{ м/хв.}$$

Розрахункове число обертів визначається за формулою:

$$n_p = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi \cdot d}. \quad (1.22)$$

Діаметр дорівнює – $d = 113$ мм. Тоді n_p :

$$n_p = \frac{1000 \cdot 111,2}{3,14 \cdot 113} = 313 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за верстатом $n = 290$ об/хв.
Дійсна швидкість різання:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}. \quad (1.23)$$

$$v = \frac{3,14 \cdot 113 \cdot 290}{1000} = 103 \text{ м/хв.}$$

Сила P_z визначається за формулою:

$$P_z = C_p \cdot v^{-0,15} \cdot s_o^{0,75} \cdot t^{0,95}, \quad (1.24)$$

де $C_p = 4\,300$ [8, с. 74].

$$P_z = 4300 \cdot 103^{-0,15} \cdot 0,14^{0,75} \cdot 1,5^{0,95} = 722 \text{ Н.}$$

Потужність різання визначається за формулою:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}, \quad (1.25)$$

$$N = \frac{722 \cdot 103}{1020 \cdot 60} = 1,2 \text{ кВт.}$$

Розрахуємо основний машинний час:

$$T_o = \frac{L_{p.x.}}{S_o \cdot n}, \quad (1.26)$$

де $L_{p.x.}$ – довжина робочого ходу:

$$L_{p.x.} = l_{різ} + l_{вр} + l_{пер}, \quad (1.27)$$

$l_{вр} = 1 \text{ мм}$ [9, табл. 2, с. 621].

$l_{пер} = 1$ [9, табл. 2, с. 621].

$$L_{p.x.} = 24,5 + 1 + 1 = 26,5 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{26,5}{0,14 \cdot 290} = 0,65 \text{ хв.}$$

Перехід 2.

Глибина різання $t = 1,5 \text{ мм}$.

Табличне значення подачі: $S_{от} = 0,6 \text{ мм/об}$ [8, табл. 19, с. 68]. Подача за формулою (1.20):

$$S_{от} = S_o \cdot K_S = 0,6 \cdot 0,24 = 0,14 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання визначається за формулою (1.21). Параметр $C_v = 580$ [8, с. 74]. Стійкість вибираємо $T = 30 \text{ хв}$.

$$v_p = \frac{580}{30^{0,35} \cdot 0,14^{0,45} \cdot 1,5^{0,15}} = 111,2 \text{ м/хв.}$$

Розрахункове число обертів визначається за формулою (1.22). Діаметр дорівнює – $d = 223,5$ мм. Тоді n_p :

$$n_p = \frac{1000 \cdot 111,2}{3,14 \cdot 223,5} = 158 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за верстатом $n = 150$ об/хв.
Дійсна швидкість різання (1.23):

$$v = \frac{3,14 \cdot 223,5 \cdot 150}{1000} = 105 \text{ м/хв.}$$

Сила P_z визначається за формулою (1.23). $C_p = 4\,300$ [8, с. 74].

$$P_z = 4300 \cdot 103^{-0,15} \cdot 0,14^{0,75} \cdot 1,5^{0,95} = 719 \text{ Н.}$$

Потужність різання визначається за формулою (1.24):

$$N = \frac{719 \cdot 105}{1020 \cdot 60} = 1,24 \text{ кВт.}$$

Розрахуємо основний машинний час за формулою (1.25).

$$l_{вр} = 1 \text{ мм [9, табл. 2, с. 621].}$$

$$l_{пер} = 1 \text{ [9, табл. 2, с. 621].}$$

$$L_{р.х.} = 66 + 1 + 1 = 68 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{68}{0,14 \cdot 150} = 3,24 \text{ хв.}$$

Перехід 3.

Глибина різання $t = 1,5$ мм.

Табличне значення подачі: $S_{от} = 0,6$ мм/об [8, табл. 19, с. 68]. Подача за формулою (1.20):

$$S_{от} = S_o \cdot K_S = 0,6 \cdot 0,24 = 0,14 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання визначається за формулою (1.21). Параметр $C_p = 580$ [8, с. 74]. Стійкість вибирасмо $T = 30$ хв.

$$v_p = \frac{580}{30^{0,35} \cdot 0,14^{0,45} \cdot 1,5^{0,15}} = 111,2 \text{ м/хв.}$$

Розрахункове число обертів визначається за формулою (1.22). Діаметр дорівнює – $d = 320$ мм. Тоді n_p :

$$n_p = \frac{1000 \cdot 111,2}{3,14 \cdot 320} = 110,6 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за верстатом $n = 110$ об/хв.

Дійсна швидкість різання (1.23):

$$v = \frac{3,14 \cdot 223,5 \cdot 150}{1000} = 105 \text{ м/хв.}$$

Сила P_z визначається за формулою (1.23). $C_p = 4\,300$ [8, с. 74].

$$P_z = 4300 \cdot 111^{-0,15} \cdot 0,14^{0,75} \cdot 1,5^{0,95} = 714 \text{ Н.}$$

Потужність різання визначається за формулою (1.24):

$$N = \frac{719 \cdot 111}{1020 \cdot 60} = 1,29 \text{ кВт.}$$

Розрахуємо основний машинний час за формулою (1.25).

$$t_{\text{вр}} = 1 \text{ мм [9, табл. 2, с. 621].}$$

$$t_{\text{пер}} = 1 \text{ [9, табл. 2, с. 621].}$$

$$L_{\text{р.х.}} = 54 + 1 + 1 = 56 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{56}{0,14 \cdot 110} = 3,6 \text{ хв.}$$

Перехід 4.

Глибина різання $t = 1,5 \text{ мм.}$

Табличне значення подачі: $S_{\text{от}} = 0,6 \text{ мм/об [8, табл. 19, с. 68].}$ Подача за формулою (1.20):

$$S_{\text{от}} = S_o \cdot K_S = 0,6 \cdot 0,24 = 0,14 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання визначається за формулою (1.21). Параметр $C_v = 580$ [8, с. 74]. Стійкість вибираємо $T = 30 \text{ хв.}$

$$v_p = \frac{580}{30^{0,35} \cdot 0,14^{0,45} \cdot 1,5^{0,15}} = 111,2 \text{ м/хв.}$$

Розрахункове число обертів визначається за формулою (1.22). Діаметр дорівнює – $d = 345 \text{ мм.}$ Тоді n_p :

$$n_p = \frac{1000 \cdot 111,2}{3,14 \cdot 345} = 102,6 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за веретатом $n = 90 \text{ об/хв.}$

Дійсна швидкість різання (1.23):

$$v = \frac{3,14 \cdot 345 \cdot 90}{1000} = 98 \text{ м/хв.}$$

Сила P_z визначається за формулою (1.23). $C_p = 4\,300$ [8, с. 74].

$$P_z = 4300 \cdot 98^{-0,15} \cdot 0,14^{0,75} \cdot 1,5^{0,95} = 727 \text{ Н.}$$

Потужність різання визначається за формулою (1.24):

$$N = \frac{727 \cdot 98}{1020 \cdot 60} = 1,16 \text{ кВт.}$$

Розрахуємо основний машинний час за формулою (1.25).

$$t_{\text{вр}} = 1 \text{ мм [9, табл. 2, с. 62]}.$$

$$t_{\text{пер}} = 1 \text{ [9, табл. 2, с. 62]}.$$

$$L_{\text{р.х.}} = 23 + 1 + 1 = 25 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{25}{0,14 \cdot 90} = 2,0 \text{ хв.}$$

Перехід 5.

Глибина різання $t = 0,5$ мм.

Табличне значення подачі: $S_{\text{от}} = 0,1$ мм/об [8, табл. 24, с. 70]. Подача:

$$S_o = S_{\text{от}} = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання $v_p = 290$ м/хв [8, табл. 36, с. 77].

Розрахункове число обертів визначається за формулою (1.22). Діаметр дорівнює – $d = 113$ мм. Тоді n_p :

$$n_p = \frac{1000 \cdot 290}{3,14 \cdot 113} = 817 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за верстатом $n = 750$ об/хв.
Дійсна швидкість різання (1.23):

$$v = \frac{3,14 \cdot 113 \cdot 750}{1000} = 266 \text{ м/хв.}$$

Сила $P_z = 120 \text{ Н}$ [8, табл. 36, с. 77].

Потужність різання $N = 0,6 \text{ кВт}$ [8, табл. 36, с. 77].

Основний машинний час розрахуємо за формулою (1.25).

$l_{\text{вр}} = 1 \text{ мм}$ [9, табл. 2, с. 621].

$l_{\text{пер}} = 1$ [9, табл. 2, с. 621].

$$L_{\text{р.х.}} = 24,5 + 1 + 1 = 26,5 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{26,5}{0,1 \cdot 750} = 0,35 \text{ хв.}$$

Перехід 6.

Глибина різання $t = 0,5 \text{ мм}$.

Табличне значення подачі: $S_{\text{от}} = 0,1 \text{ мм/об}$ [8, табл. 24, с. 70]. Подача:

$$S_o = S_{\text{от}} = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання $v_p = 290 \text{ м/хв}$ [8, табл. 36, с. 77].

Розрахункове число обертів визначається за формулою (1.22). Діаметр дорівнює – $d = 223,5 \text{ мм}$. Тоді n_p :

$$n_p = \frac{1000 \cdot 290}{3,14 \cdot 223,5} = 413 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за верстатом $n = 400$ об/хв.

Дійсна швидкість різання (1.22):

$$v = \frac{3,14 \cdot 223,5 \cdot 400}{1000} = 280 \text{ м/хв.}$$

Сила $P_2 = 120 \text{ Н}$ [8, табл. 36, с. 77].

Потужність різання $N = 0,6 \text{ кВт}$ [8, табл. 36, с. 77].

Основний машинний час розраховуємо за формулою (1.25).

$t_{\text{вр}} = 1 \text{ мм}$ [9, табл. 2, с. 621].

$t_{\text{пер}} = 1$ [9, табл. 2, с. 621].

$$L_{\text{р.х.}} = 66 + 1 + 1 = 68 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{68}{0,1 \cdot 400} = 1,7 \text{ хв.}$$

Перехід 7.

Глибина різання $t = 0,5 \text{ мм}$.

Табличне значення подачі: $S_{\text{от}} = 0,1 \text{ мм/об}$ [8, табл. 24, с. 70]. Подача:

$$S_o = S_{\text{от}} = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання $v_p = 290 \text{ м/хв}$ [8, табл. 36, с. 77].

Розрахункове число обертів визначається за формулою (1.22). Діаметр дорівнює $d = 320 \text{ мм}$. Тоді n_p :

$$n_p = \frac{1000 \cdot 290}{3,14 \cdot 320} = 817 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за верстатом $n = 290 \text{ об/хв.}$

Дійсна швидкість різання (1.23):

$$v = \frac{3,14 \cdot 320 \cdot 290}{1000} = 292 \text{ м/хв.}$$

Сила $P_2 = 120 \text{ Н}$ [8, табл. 36, с. 77].

Потужність різання $N = 0,6 \text{ кВт}$ [8, табл. 36, с. 77].

Основний машинний час розрахуємо за формулою (1.25).

$l_{\text{вр}} = 1 \text{ мм}$ [9, табл. 2, с. 621].

$l_{\text{пер}} = 1$ [9, табл. 2, с. 621].

$$L_{\text{р.х.}} = 54 + 1 + 1 = 56 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{56}{0,1 \cdot 290} = 1,93 \text{ хв.}$$

Перехід 7.

Глибина різання $t = 0,5 \text{ мм}$.

Табличне значення подачі: $S_{\text{от}} = 0,1 \text{ мм/об}$ [8, табл. 24, с. 70]. Подача:

$$S_o = S_{\text{от}} = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання $v_p = 290 \text{ м/хв}$ [8, табл. 36, с. 77].

Розрахункове число обертів визначається за формулою (1.22). Діаметр дорівнює – $d = 345 \text{ мм}$. Тоді n_p :

$$n_p = \frac{1000 \cdot 290}{3,14 \cdot 345} = 268 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за верстатом $n = 250 \text{ об/хв.}$

Дійсна швидкість різання (1.23):

$$v = \frac{3,14 \cdot 320 \cdot 290}{1000} = 292 \text{ м/хв.}$$

Сила $P_2 = 120 \text{ Н}$ [8, табл. 36, с. 77].

Потужність різання $N = 0,6 \text{ кВт}$ [8, табл. 36, с. 77].

Основний машинний час розрахуємо за формулою (1.25).

$$t_{\text{вр}} = 1 \text{ мм [9, табл. 2, с. 621].}$$

$$t_{\text{пер}} = 1 \text{ [9, табл. 2, с. 621].}$$

$$L_{\text{р.х.}} = 54 + 1 + 1 = 56 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{56}{0,1 \cdot 290} = 1,93 \text{ хв.}$$

Перехід 8.

Глибина різання $t = 0,5 \text{ мм.}$

Табличне значення подачі: $S_{\text{от}} = 0,1 \text{ мм/об [8, табл. 24, с. 70].}$ Подача:

$$S_o = S_{\text{от}} = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання $v_p = 290 \text{ м/хв [8, табл. 36, с. 77].}$

Розрахункове число обертів визначається за формулою (1.22). Діаметр дорівнює – $d = 345 \text{ мм.}$ Тоді n_p :

$$n_p = \frac{1000 \cdot 290}{3,14 \cdot 345} = 268 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за верстатом $n = 250 \text{ об/хв.}$

Дійсна швидкість різання (1.23):

$$v = \frac{3,14 \cdot 320 \cdot 290}{1000} = 292 \text{ м/хв.}$$

Сила $P_z = 120 \text{ Н [8, табл. 36, с. 77].}$

Потужність різання $N = 0,6 \text{ кВт [8, табл. 36, с. 77].}$

Основний машинний час розрахуємо за формулою (1.25).

$$t_{\text{вр}} = 1 \text{ мм [9, табл. 2, с. 621].}$$

$$t_{\text{пер}} = 1 \text{ [9, табл. 2, с. 621].}$$

$$L_{p.x.} = 23 + 1 + 1 = 25 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{25}{0,1 \cdot 290} = 1,00 \text{ хв.}$$

Загальна основний час на операцію дорівнює:

$$T_o = 0,65 + 3,24 + 3,64 + 1,99 + 0,35 + 1,7 + 1,9 + 1,0 = 14,5 \text{ хв.}$$

1.6.2 Операція 40 – Свердлильна

Верстат: радіально-свердлильний 2М55.

Матеріал: Сталь 14Х17Н2. Твердість 23...32 HRC.

Операційний ескіз показаний на рис. 1.5.

Перехід1: свердлити 12 отворів Ø5,5. Свердло спіральне Ø5,5 Р6М5 ГОСТ 20695-75.

Перехід2: Зенкерувати 12 отворів Ø6,3. Зенкер Ø6,3 Р9М4К8 ГОСТ 12489-71.

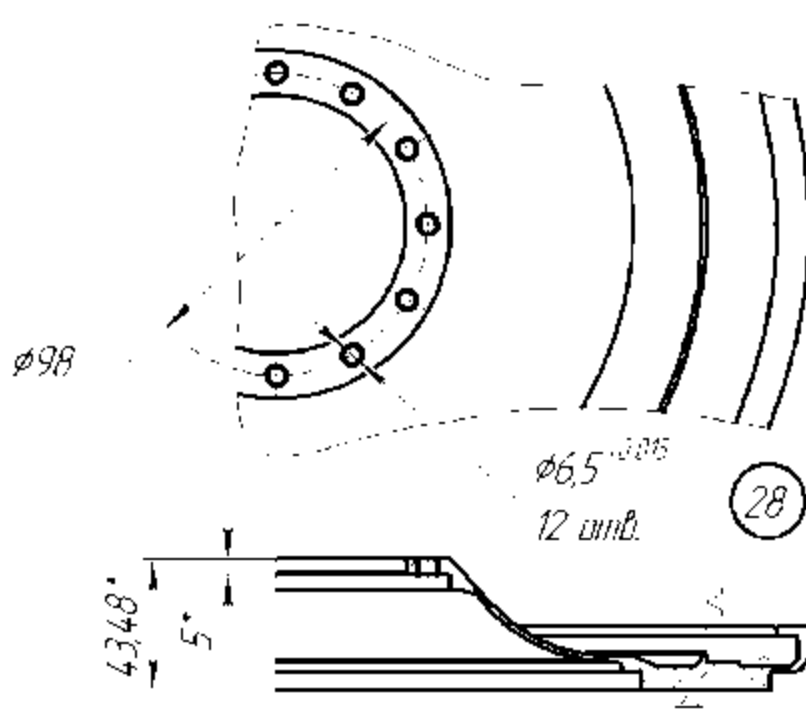
Перехід3: Розгортання 12 отворів Ø6,5. Розгортка Ø6,5 Р9К5 ГОСТ 1672 – 82.

Перехід1

Глибина різання $t = \frac{5,5}{2} = 2,75 \text{ мм.}$

Таблична подача: $S_{от} = 0,2 \text{ мм/об}$ [8, табл. 72, с. 91]. Подача:

$$S_o = S_{от} = 0,2 \text{ мм/об.}$$



* Розмер для справок

Рисунок 1.5 – Операційний ескіз

Швидкість різання визначається за формулою:

$$v_p = \frac{C_v \cdot D^{0.75}}{T^{0.25} \cdot S_o^{0.85}} \quad (1.28)$$

Параметр $C_v = 0,95$ [8, с. 96]. Вибираємо значення стійкості, що дорівнює $T = 6$ хв [6, табл. 30, с. 279]. Тоді розрахункове значення швидкості різання:

$$v_p = \frac{0,95 \cdot 5,5^{0.75}}{6^{0.25} \cdot 0,2^{0.85}} = 8,56 \text{ м/хв.}$$

Розрахункове число оборотів визначається за формулою (1.22), $d = 5,5$ мм.

$$n_p = \frac{1000 \cdot 8,56}{3,14 \cdot 5,5} = 495 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за верстатом $n = 475$ об/хв.

Дійсна швидкість різання за формулою (1.23):

$$v = \frac{3,14 \cdot 5,5 \cdot 475}{1000} = 8,2 \text{ м/хв.}$$

Сила P_o визначається за формулою:

$$P_o = C_p \cdot D \cdot S_o^{0,7}. \quad (1.29)$$

Де $C_p = 1400$ [8, с. 96]. Відповідно:

$$P_o = 1400 \cdot 5,5 \cdot 0,2^{0,7} = 2500 \text{ Н.}$$

Крутний момент визначається за формулою:

$$M_{кр} = C_M \cdot v^{0,15} \cdot D^{1,9} \cdot S_o^{0,8} / 100, \quad (1.30)$$

де $C_M = 100$ [8, с. 96].

$$M_{кр} = 100 \cdot 8,2^{0,15} \cdot 5,5^{1,9} \cdot \frac{0,2^{0,8}}{100} = 9,7 \text{ Н·м.}$$

Розрахуємо основний машинний час за формулою:

$$T_0 = i \cdot \frac{L_{p.x.}}{S_o \cdot n}. \quad (1.31)$$

Довжина врізання і перебігу $l_{вр} + l_{пер} = 2,5$ мм [9, табл. 2, с. 621]. Довжина робочого ходу: $L_{p.x.} = 5 + 2,5 = 7,5$ мм. Тоді:

$$T_0 = 12 \cdot \frac{7,5}{0,14 \cdot 475} = 0,95 \text{ хв.}$$

Перехід2

Глибина різання $t = \frac{6,3-5,5}{2} = 0,4$ мм.

Таблична подача: $S_{от} = 0,5$ мм/об [8, табл. 72, с. 91]. Подача:

$$S_0 = S_{от} = 0,5 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання визначається за формулою:

$$v_p = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S_0^y} K_v, \quad (1.32)$$

Параметр $C_v = 3,5$ [6, табл. 28, с. 278]. Стійкість вибираємо [6, табл. 30, с. 279]. Параметри $q = 0,5$, $y = 0,45$, $m = 0,12$.

Загальний поправочний коефіцієнт K_v на швидкість різання визначасмо за формулою:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{lv} \cdot K_{tv}, \quad (1.33)$$

де $K_{Mv} = 0,7$ – коефіцієнт на оброблюваний матеріал [2, табл. 3, с. 262].

$K_{lv} = 0,3$ – коефіцієнт на інструментальний матеріал [6, табл. 6, с. 263].

$K_{tv} = 1,0$ – коефіцієнт на глибину різання [6, табл. 31, с. 280].

$$v_p = \frac{3,5 \cdot 6,3^{0,5}}{30^{0,12} \cdot 0,5^{0,45}} \cdot 0,21 = 14,4 \text{ м/хв.}$$

Розрахункове число оборотів визначається за формулою (1.22). $d = 6,3$ мм.

$$n_p = \frac{1000 \cdot 14,4}{3,14 \cdot 6,3} = 725 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за верстатом $n = 690$ об/хв.

Дійсна швидкість різання за формулою (1.23):

$$v = \frac{3,14 \cdot 6,3 \cdot 690}{1000} = 13,7 \text{ м/хв.}$$

Сила P_0 визначається за формулою:

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D \cdot t^x \cdot S_o^y \cdot K_p. \quad (1.34)$$

Де $C_p = 140$; $x = 1,2$, $y = 0,65$ [6, табл. 32, с. 281].

$$K_p = K_{MP} = \left(\frac{\sigma_n}{750} \right)^{0,75} = \left(\frac{686}{750} \right)^{0,75} = 0,94 \text{ [6, табл. 9, с. 264].}$$

$$P_0 = 10 \cdot 140 \cdot 0,4^{1,2} \cdot 0,5^{0,65} \cdot 0,94 = 279 \text{ Н.}$$

Крутний момент визначається за формулою:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot t^x \cdot S_o^y \cdot K_p, \quad (1.35)$$

де $C_M = 0,106$; $q = 1,0$; $x = 0,9$; $y = 0,8$ [6, табл. 32, с. 281]. Відповідно:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,106 \cdot 6,3^{1,0} \cdot 0,4^{0,9} \cdot 0,5^{0,8} \cdot 0,94 = 1,6 \text{ Н·м.}$$

Розрахуємо основний машинний час за формулою (1.31). Довжина врізання і перебігу $l_{вр} + l_{пер} = 3 \text{ мм}$ [9, табл. 3, с. 621]. Довжина робочого ходу: $L_{р.х.} = 5 + 3 = 8 \text{ мм}$. Тоді:

$$T_0 = 12 \cdot \frac{8}{0,5 \cdot 690} = 0,28 \text{ хв.}$$

Перехід 3

$$\text{Глибина різання } t = \frac{6,5-6,3}{2} = 0,1 \text{ мм.}$$

Таблична подача: $S_{зт} = 0,1 \text{ мм/зуб}$ [8, табл. 198, с. 231]. Подача:

$$S_o = S_{zt} \cdot z = 0,1 \cdot 6 = 0,6 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання $v_p = 2 \text{ м/хв}$ [8, табл. 198, с. 231].

Розрахункове число оборотів визначається за формулою (1.22). $d = 6,5 \text{ мм}$.

$$n_p = \frac{1000 \cdot 2}{3,14 \cdot 6,5} = 97,9 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за верстатом $n = 90 \text{ об/хв}$.

Дійсна швидкість різання за формулою (1.23):

$$v = \frac{3,14 \cdot 6,3 \cdot 90}{1000} = 1,8 \text{ м/хв.}$$

Сила P_0 і крутний момент $M_{кр}$ при розгортанні значно менший, ніж при зенкеруванні і свердлінні, тому розраховувати його не має сенсу.

Розрахуємо основний машинний час за формулою (1.31). Довжина врізання і перебігу $l_{вр} + l_{пер} = 8 \text{ мм}$ [9, табл. 3, с. 622]. Довжина робочого ходу: $L_{р.х.} = 5 + 8 = 13 \text{ мм}$. Тоді:

$$T_o = 12 \cdot \frac{13}{0,6 \cdot 90} = 2,89 \text{ хв.}$$

Загальний основний час на операцію дорівнює:

$$T_o = 0,95 + 0,28 + 2,89 = 4,11 \text{ хв.}$$

1.6.3 Операція 50 – Фрезерна

Верстат: вертикально-фрезерний 6P13.

Матеріал: Сталь 14X14H2. Твердість 23...32 HRC.

Операційний ескіз показаний на рис. 1.6.

Інструмент: кінцева фреза з циліндричним хвостовиком $\varnothing 16$ P9M4K8 ГОСТ 17025-71. Число зубів $z = 6$.

Глибина різання $z = 4,2$ мм. Ширина фрезерування $B = 15$ мм.

Подача на зуб $S_z = 0,05$ мм/зуб [9, табл. 137, с. 157].

Стійкість фрези $T = 0,05$ хв [6, табл. 40, с. 290].

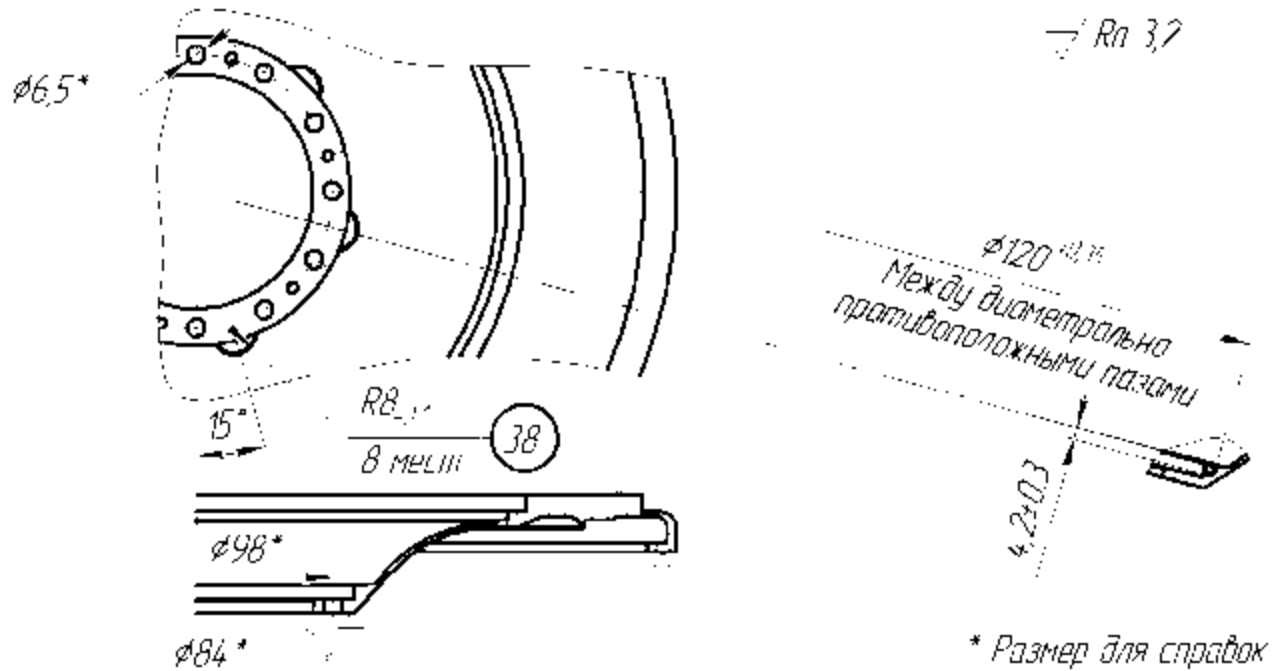


Рисунок 1.6 – Операційний ескіз

Швидкість різання визначається за формулою:

$$v_p = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S_z^{0,25} \cdot t_z^{0,25} \cdot B^{0,1} \cdot z^{0,1}}, \quad (1.36)$$

де $C_p = 75$ [9, табл. 141, с. 160]. Тоді:

$$v_p = \frac{75 \cdot 16^{0,3}}{80^{0,24} \cdot 0,05^{0,25} \cdot 4,2^{0,25} \cdot 15^{0,1} \cdot 6^{0,1}} = 57 \text{ м/хв.}$$

Розрахункове число оборотів визначається за формулою (1.22). $d = 16$ мм.

$$n_p = \frac{1000 \cdot 57}{3,14 \cdot 16} = 1128 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за верстатом $n = 1120$ об/хв.

Дійсна швидкість різання за формулою (1.23):

$$v = \frac{3,14 \cdot 16 \cdot 1120}{1000} = 56,3 \text{ м/хв.}$$

Подача за хвилину визначається за формулою:

$$S_{\text{хв}} = S_z \cdot z \cdot n. \quad (1.37)$$

$$S_{\text{хв}} = 0,05 \cdot 6 \cdot 1120 = 332 \text{ мм/хв.}$$

Округлюємо до найближчого значення за верстатом $S_{\text{хв}} = 290$ мм/хв..

Сила різання P_Z визначається за формулою:

$$P_Z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP}. \quad (1.38)$$

Де $C_p = 68,2$; $x = 0,86$, $y = 0,72$, $u = 0,1$; $q = 0,86$; $w = 0$ [6, табл. 41, с. 287]. Відповідно:

$$P_Z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 4,2^{0,86} \cdot 0,05^{0,72} \cdot 15^{0,1} \cdot 6}{D^q \cdot n^w} \cdot 0,94 = 180 \text{ Н.}$$

Крутний момент визначається за формулою:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100}, \quad (1.39)$$

$$M_{кр} = \frac{180 \cdot 16}{2 \cdot 100} = 14,5 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Розрахуємо основний машинний час за формулою:

$$T_0 = \frac{L_{р.х.}}{S_{хв}} \cdot i. \quad (1.40)$$

Довжина врізання і перебігу $l_{вр} + l_{пер} = 9 \text{ мм}$ [9, табл. 7, с. 623]. Довжина робочого ходу: $L_{р.х.} = 5 + 9 = 14 \text{ мм}$. Тоді:

$$T_0 = 12 \cdot \frac{14}{290} = 0,39 \text{ хв}.$$

1.6.4 Операція 75 – Токарна

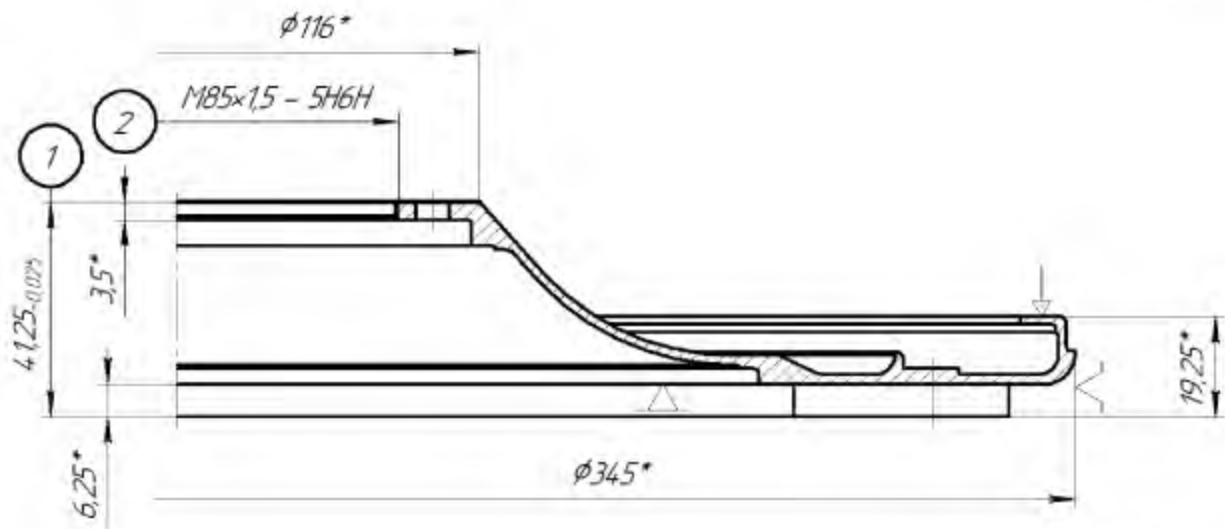
Верстат: токарно-карусельний з ЧПК SKJ-16.

Матеріал: Сталь 14X17H2. Твердість 23...32 HRC.

Операційний ескіз показаний на рис. 1.7.

Інструмент: для переходу 1 – різець для контурного точіння з механічним кріпленням твердосплавних пластин ГОСТ20872-80 2101-0676: лівий, 40×32×200, $\varphi = 93^\circ$.

Для переходу 2 – різець різьбовий з пластиною з твердого сплаву ГОСТ 18885-73 2662-0007 1,5 T15K6. Інструментальний матеріал – T15K6.



* Розмір для справок

Рисунок 1.7 – Операційний ескіз

Перехід 1: точити торець за програмою, витримуючи розмір 1.

Перехід 2: нарізати різьбу, витримуючи розмір 1.

Перехід 1.

Глибина різання $t = 0,5$ мм.

Табличне значення подачі: $S_{от} = 0,1$ мм/об [8, табл. 24, с. 70]. Подача:

$$S_o = S_{от} = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання $v_p = 290$ м/хв [8, табл. 36, с. 77].

Розрахункове число обертів визначається за формулою (1.22). Діаметр дорівнює – $d = 116$ мм. Тоді n_p :

$$n_p = \frac{1000 \cdot 290}{3,14 \cdot 116} = 796 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за верстатом $n = 750$ об/хв.

Дійсна швидкість різання (1.23):

$$v = \frac{3,14 \cdot 116 \cdot 750}{1000} = 273 \text{ м/хв.}$$

Сила $P_z = 90 \text{ Н}$ [8, табл. 36, с. 77].

Потужність різання $N = 0,5 \text{ кВт}$ [8, табл. 36, с. 77].

Основний машинний час розрахуємо за формулою (1.25).

$l_{\text{вр}} = 1 \text{ мм}$ [9, табл. 2, с. 621].

$l_{\text{пер}} = 1$ [9, табл. 2, с. 621].

$$L_{\text{р.х.}} = 16 + 1 + 1 = 18 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{18}{0,1 \cdot 750} = 0,24 \text{ хв.}$$

Перехід 8.

Глибина різання $t = 0,5 \text{ мм}$.

Значення відповідає кроку різі – $S_o = 1,5 \text{ мм/об}$.

Швидкість різання $v_p = 140 \text{ м/хв}$ [8, табл. 39, с. 81].

Розрахункове число обертів визначається за формулою (1.22). Діаметр дорівнює – $d = 85 \text{ мм}$. Тоді n_p :

$$n_p = \frac{1000 \cdot 85}{3,14 \cdot 85} = 318 \text{ об/хв.}$$

Округляємо до найближчого значення за верстатом $n = 300 \text{ об/хв}$.

Дійсна швидкість різання (1.23):

$$v = \frac{3,14 \cdot 85 \cdot 300}{1000} = 80 \text{ м/хв.}$$

Сила $P_z = 40 \text{ Н}$ [8, табл. 36, с. 77].

Потужність різання $N = 0,3$ кВт [8, табл. 36, с. 77].

Основний машинний час розраховуємо за формулою (1.25).

$t_{\text{вр}} = 2$ мм [9, табл. 2, с. 621].

$t_{\text{пер}} = 2$ [9, табл. 2, с. 621].

$$L_{\text{р.х}} = 3,5 + 2 + 2 = 7,5 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{3,5}{1,5 \cdot 300} = 0,02 \text{ хв.}$$

Загальна основний час на операцію дорівнює:

$$T_o = 0,24 + 0,02 = 0,26 \text{ хв.}$$

1.7 Технічне нормування операцій

Під технічною нормою часу розуміють тривалість часу, необхідного для виконання операції. Нормою часу в умовах серійного виробництва є штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п.з}}}{n}, \quad (1.41)$$

де n – число деталей в партії, шт;

$T_{\text{п.з}}$ – підготовчо-заключний час, хв.

$T_{\text{шт}}$ – штучний час, хв (норма часу на одну деталь).

Штучний час визначається як:

$$T_{\text{шт}} = T_o + T_d + T_{\text{обсл}} + T_{\text{відп}}, \quad (1.42)$$

де T_o – основний (машинний) час, хв;

T_d – допоміжний час, хв;

$T_{\text{обсл}}$ – час обслуговування робочого місця, хв;

$T_{\text{відп}}$ – час перерв на відпочинок і особисті потреби, хв.

Допоміжний час розраховується за формулою:

$$T_d = T_{y.z} + T_{z.v} + T_{\text{кер}} + T_{\text{вим}}, \quad (1.43)$$

де $T_{y.z}$ – час на установку і зняття деталі, хв;

$T_{z.v}$ – час на закріплення і відкріплення деталі, хв;

$T_{\text{кер}}$ – час на прийоми керування, хв;

$T_{\text{вим}}$ – час на вимірювання деталі, хв.

Оперативний час визначається за формулою:

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_d \quad (1.44)$$

Час на обслуговування робочого місця, відпочинок і природні потреби визначається за формулою:

$$T_{\text{обсл}} = T_{\text{оп}} \cdot \frac{\alpha_{\text{обсл}}}{100}, \quad (1.45)$$

$$T_{\text{відп}} = T_{\text{оп}} \cdot \frac{\alpha_{\text{відп}}}{100}, \quad (1.46)$$

де $\alpha_{\text{обсл}}$, $\alpha_{\text{відп}}$ – відповідно час на обслуговування робочого місця, перерва на відпочинок і природні потреби, в процентах від оперативного часу.

Операція 35 – Токарна

Час на установку і зняття деталі: $T_{y.z} = 0,7$ хв [10, карта 3, с. 52].

Час на закріплення-відкріплення: $T_{z.v} = 0,03$ хв [10, карта 13, с. 78].

Час, пов'язаний з переходом: $T_{\text{кер}} = 0,32 + 0,15 + 0,03 = 0,5$ хв [10, карта 14, с. 79].

Час на контрольні вимірювання: $T_{\text{вим}} = 0,15 + 0,19 + 0,16 + 0,50 = 1,02$ хв [10, карта 15, с. 80-86].

Визначаємо допоміжний час за формулою (1.43):

$$T_d = 0,7 + 0,03 + 0,5 + 1,02 = 2,25 \text{ хв.}$$

Оперативний час визначаємо за формулою (1.44):

$$T_{оп} = 14,5 + 2,25 = 16,75 \text{ хв.}$$

Штучний час визначається за формулою (1.42):

$$\alpha_{обсл} + \alpha_{відп} = 10\%.$$

$$T_{шт} = (1 + 0,1) \cdot 16,75 = 18,43 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час $T_{п.з} = 40$ хв [10, карта 23, с. 99].

Штучно-калькуляційний час визначаємо за формулою (1.41):

$$T_{шт-к} = 18,43 + \frac{40}{320} = 18,55 \text{ хв.}$$

Операція 40 – Свердильна

Час на установку і зняття деталі: $T_{у.з} = 0,18$ хв [10, карта 3, с. 52].

Час на закріплення-відкріплення: $T_{з.в} = 0,03$ хв [10, карта 13, с. 78].

Час, пов'язаний з переходом: $T_{кер} = 0,03 + 0,15 = 0,18$ хв [10, карта 14, с. 79].

Час на контрольні вимірювання: $T_{вим} = 12 \cdot 0,07 = 0,84$ хв [10, карта 14, с. 86].

Визначаємо допоміжний час за формулою (1.43):

$$T_d = 0,18 + 0,03 + 0,18 + 0,84 = 1,23 \text{ хв.}$$

Оперативний час визначасмо за формулою (1.44):

$$T_{\text{оп}} = 4,11 + 1,23 = 5,34 \text{ хв.}$$

Штучний час визначається за формулою (1.42):

$$\alpha_{\text{обсл}} + \alpha_{\text{відп}} = 10\%,$$

$$T_{\text{шт}} = (1 + 0,1) \cdot 5,34 = 5,87 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час $T_{\text{п.з}} = 25 \text{ хв}$ [10, карта 23, с. 99].

Штучно-калькуляційний час визначаємо за формулою (1.41):

$$T_{\text{шт-к}} = 5,87 + \frac{25}{320} = 5,95 \text{ хв.}$$

Операція 50 – Фрезерна

Час на установку і зняття деталі: $T_{\text{у.з}} = 0,18 \text{ хв}$ [10, карта 3, с. 52].

Час на закріплення-відкріплення: $T_{\text{з.в}} = 0,03 \text{ хв}$ [10, карта 13, с. 78].

Час, пов'язаний з переходом: $T_{\text{кер}} = 0,03 + 0,15 = 0,18 \text{ хв}$ [10, карта 14, с. 79].

Час на контрольні вимірювання: $T_{\text{вим}} = 6 \cdot (0,08 + 0,05) = 0,78 \text{ хв}$ [10, карта 15, с. 80-86].

Визначаємо допоміжний час за формулою (1.43):

$$T_{\text{д}} = 0,18 + 0,03 + 0,18 + 0,78 = 1,17 \text{ хв.}$$

Оперативний час визначаємо за формулою (1.44):

$$T_{\text{оп}} = 0,39 + 1,17 = 1,56 \text{ хв.}$$

Штучний час визначається за формулою (1.42):

$$\alpha_{\text{обсл}} + \alpha_{\text{відп}} = 10\%,$$

$$T_{\text{шт}} = (1 + 0,1) \cdot 1,56 = 1,72 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час $T_{п.з} = 30$ хв [10, карта 23, с. 99].

Штучно-калькуляційний час визначаємо за формулою (1.41):

$$T_{шт-к} = 1,72 + \frac{30}{320} = 1,81 \text{ хв.}$$

За аналогією проводимо розрахунки для інших операцій. Результати запишемо в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Норми часу по операціях

№	Найменування операції	T_o , хв	T_d , хв	$T_{оп}$, хв	$T_{шт}$, хв	$T_{п.з}$, хв	$T_{шт-к}$, хв
015	Токарна	6,9	2,1	9,00	9,90	30	9,99
020	Токарна	8,7	2,03	10,73	11,80	30	11,90
030	Токарна	24	2,58	26,58	29,24	45	29,38
035	Токарна	14,5	2,25	16,75	18,43	40	18,55
040	Свердлильна	4,11	1,23	5,34	5,87	25	5,95
045	Свердлильна	2,6	0,96	3,56	3,92	25	3,99
050	Фрезерна	0,39	1,17	1,56	1,72	30	1,81
055	Фрезерна	68	1,85	69,85	76,84	40	76,96
060	Свердлильна	6,2	3,61	9,81	10,79	25	10,87
065	Слюсарна	18	0	18,00	19,80	15	19,85
070	Токарна	5,2	1,01	6,21	6,83	35	6,94
075	Токарна	3,4	0,71	4,11	4,52	30	4,61
080	Слюсарна	0,1	1,2	1,30	1,43	15	1,48
085	Мийна	1	0	1,00	1,10	10	1,13
090	Контрольна	23,2	0	23,20	25,52	30	25,61

1.8 Розробка трьох технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК

1.8.1 Розробка токарної операції

Керуючу програму для верстата з ЧПК будемо розробляти на токарну операцію 075. Операційний ескіз показаний на рис. 1.8.

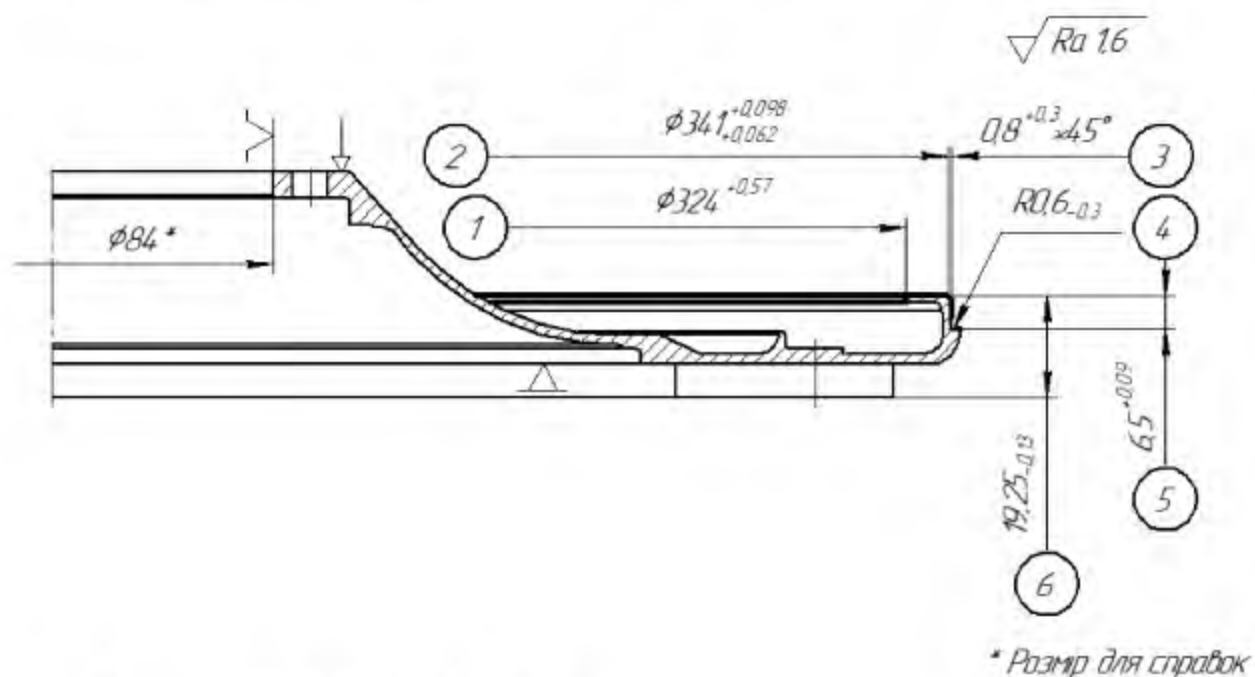


Рисунок 1.8 – Операційний ескіз

Орієнтуємо систему координат верстата відносно деталі (рис. 1.9). Додаємо заготовку (рис. 1.10). Задаємо в геометричній групі WORKPIECE деталь і заготовку. На рис. 1.11 показані перерізи заготовки і деталі, створені системою NX CAM автоматично. В геометричній групі AVOIDANCE задаємо початкову точку і точку повернення. Задаємо частоти обертання шпинделя і подачу (рис. 1.12).



Рисунок 1.9 – Система координат верстата



Рисунок 1.10 – Заготовка і деталь



Рисунок 1.11 – Перерізи заготовки та деталі

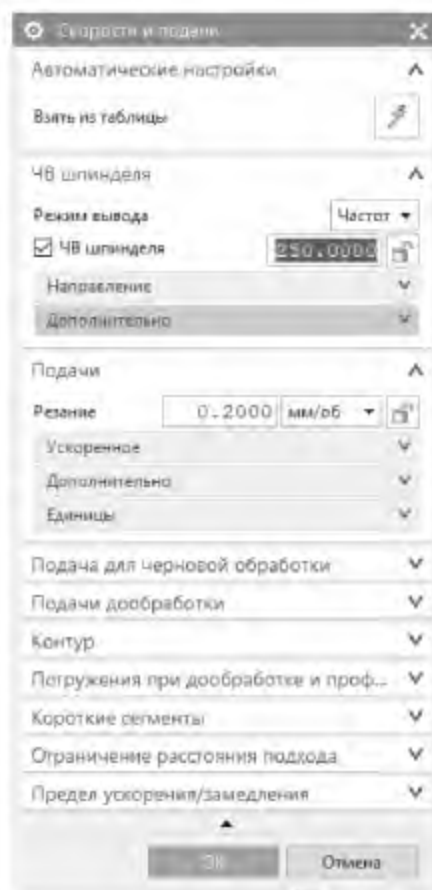


Рисунок 1.12 – Задавання частоти обертання і подачі

В групі CONTAINMENT задаємо розташування площини безпеки. Створюємо інструмент.

Далі створюємо переходи нашої обробки: підрізання торця та чистове зовнішнє точіння. Генеруємо траєкторію і створюємо керуючу програму за допомоги постпроцесора. Траєкторії руху інструментів показані на рис. 1.13-1.14. Лістинг керуючої програми показаний на рис. 1.15.

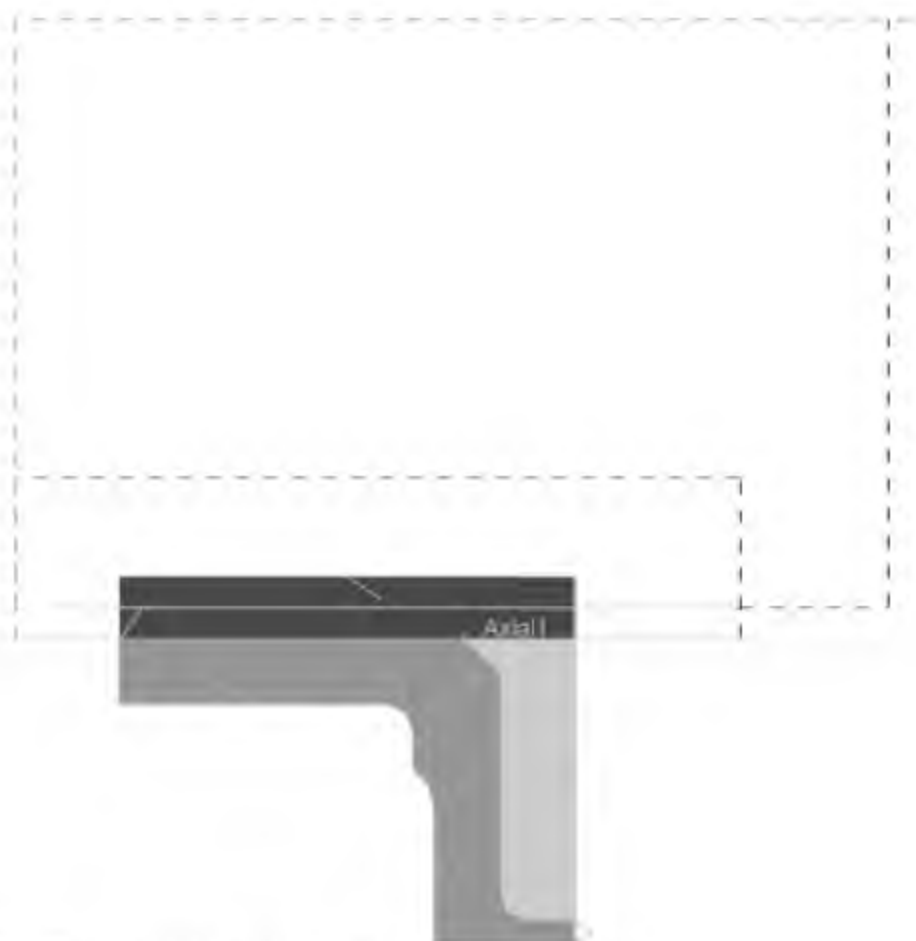


Рисунок 1.12 – Траєкторія руху інструмента



Рисунок 1.13 – Траєкторія руху інструмента



Рисунок 1.14 – Лістинг керуючої програми

1.8.2 Розробка свердильної операції

Розробимо керуючу програму на операцію 040 Свердильна для обробки 12 отворів $\phi 6,5^{+0,015}$. Дана операція складається з наступних переходів:

- центрування 12 отворів;
- свердління 12 отворів;
- зенкерування 12 отворів;
- розгортання 12 отворів.

Операційний ескіз показаний на рис. 1.15.

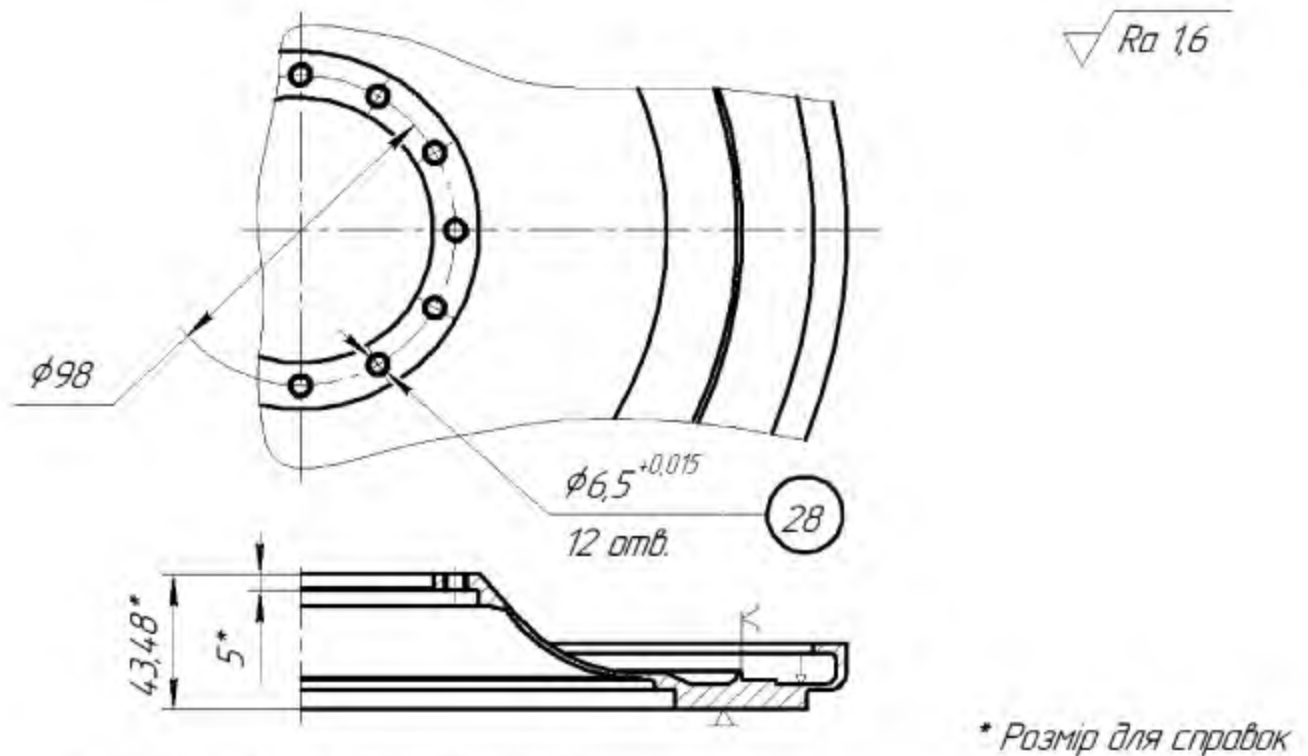


Рисунок 1.15 – Операційний ескіз

Орієнтуємо систему координат верстата відносно деталі (рис. 1.16). Додаємо в файл заготовку. Задаємо в геометричній групі WORKPIECE деталь і заготовку.

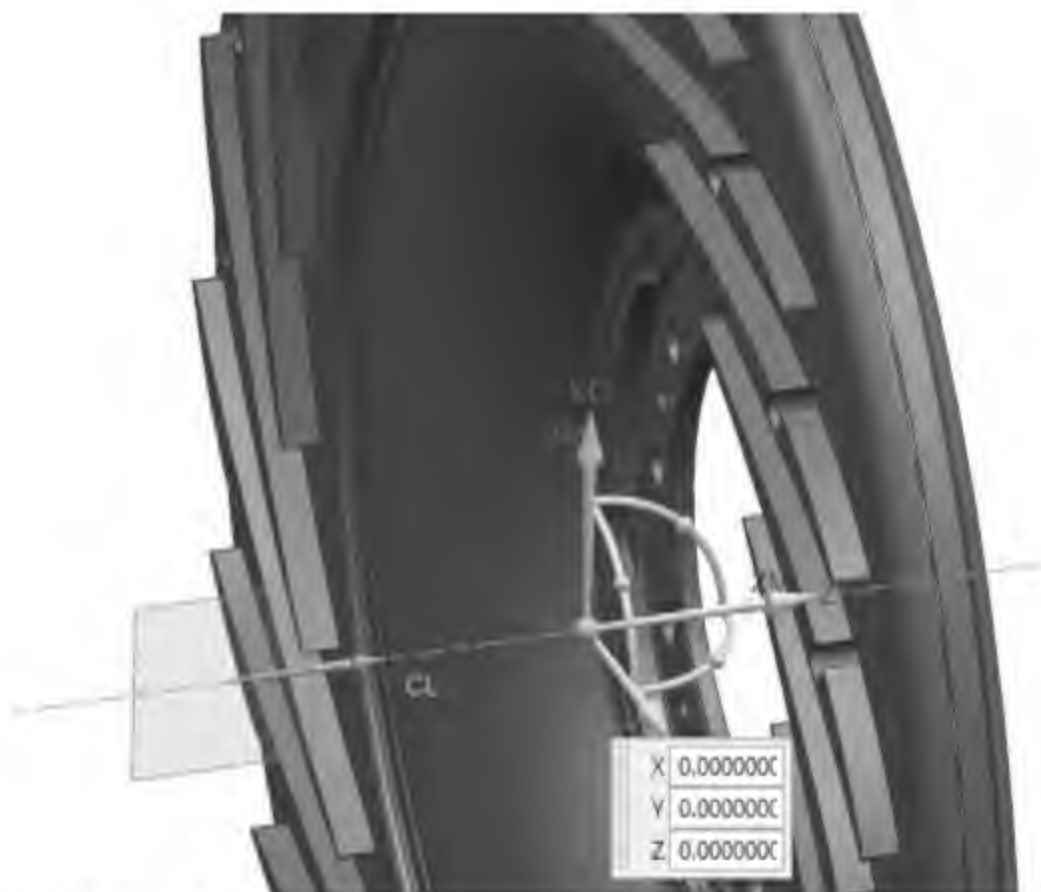


Рисунок 1.16 – Система координат верстата

Створюємо чотири інструмента: свердло центрувальне (рис. 1.17), свердло спіральне, зенкер монолітний ра розгортка машина. Послідовно створюємо чотири переходи (в термінах NX CAM «Створення операції»). В кожному переході вказуємо 12 отворів, котрі необхідно обробити. Також задаємо параметри врізання та перебігу (рис. 1.18), а також режими різання (рис. 1.19).

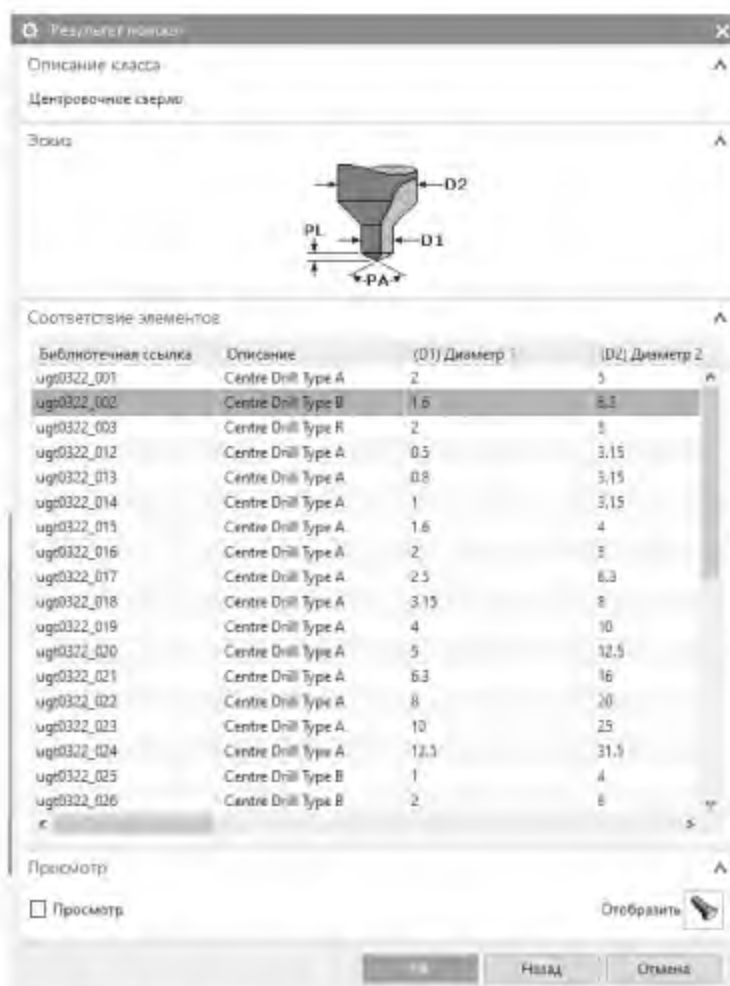


Рисунок 1.18 – Выбор инструмента из библиотеки инструментов

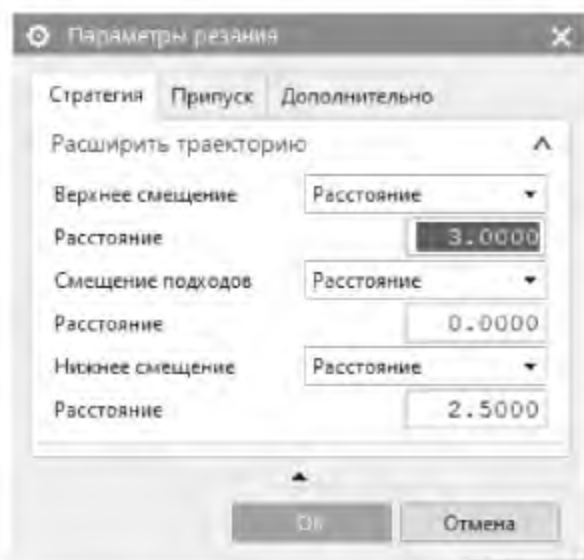


Рисунок 1.18 – Завдання параметри врізання та перебігу

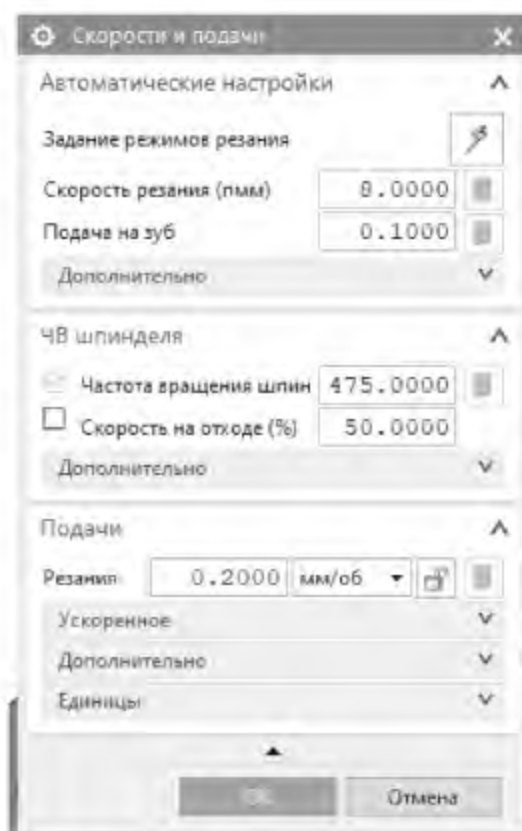


Рисунок 1.19 – Завдання режимів різання

Далі генеруємо траєкторії для кожного переходу (рис. 1.20) та постпроцесуємо для отримання керуючої програми.

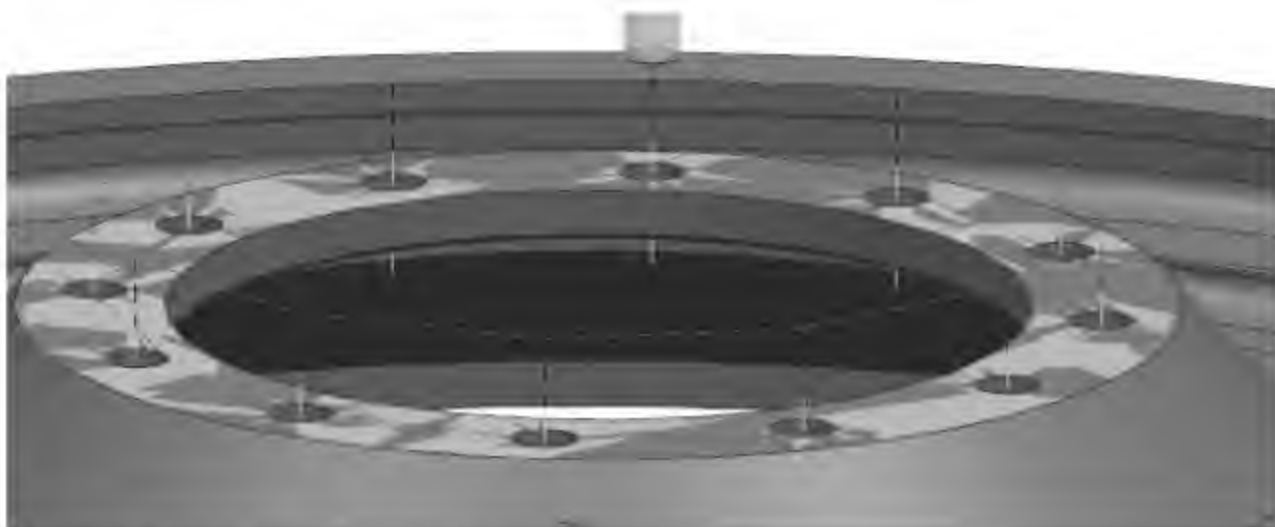


Рисунок 1.19 – Траєкторія руху свердла

1.8.3 Розробка фрезерної операції

Розробимо керуючу програму для фрезерної операції 055 (рис. 1.20)

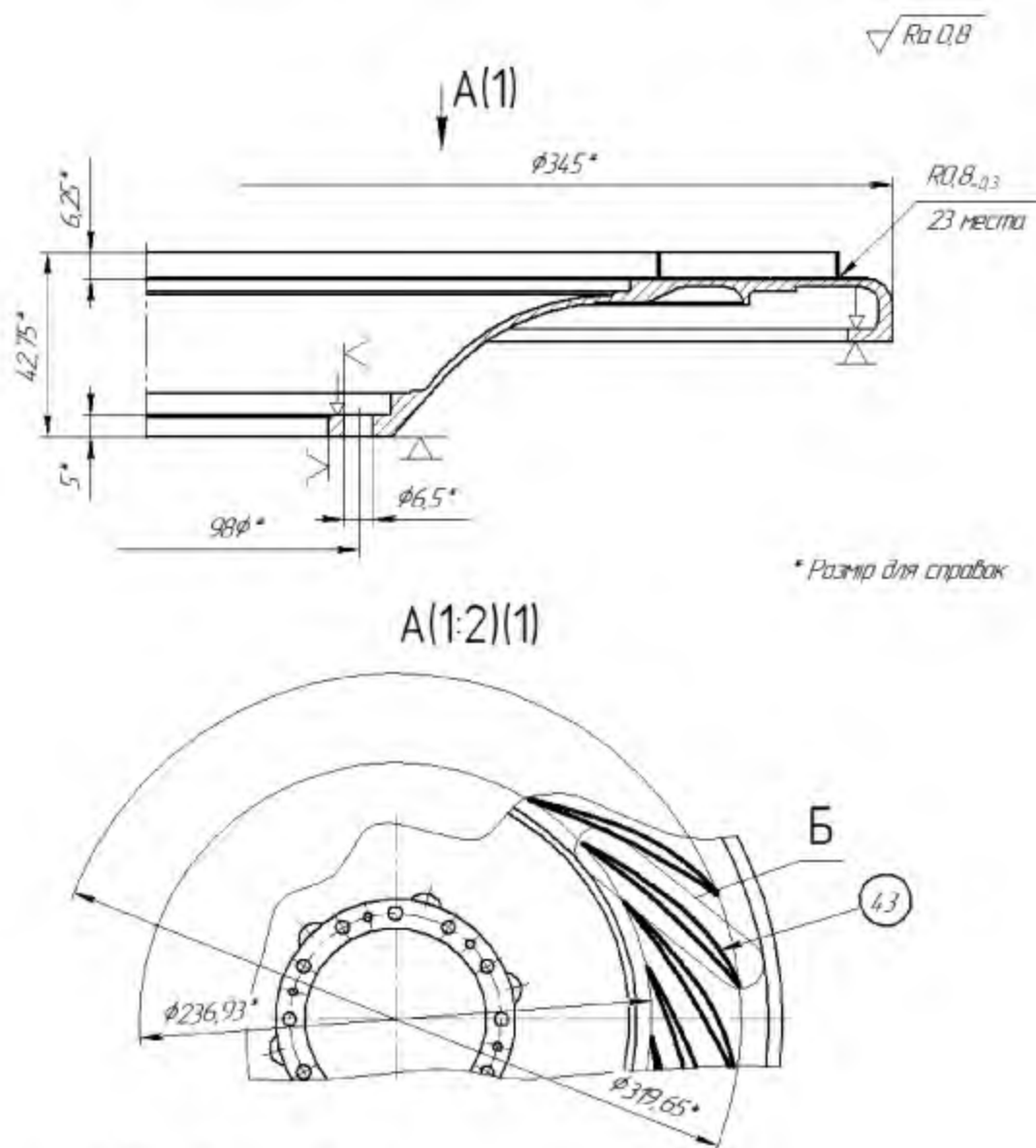


Рисунок 1.20 – Операційний ескіз

Як і при розробці токарної та свердлильної операції в файл, в якому будемо розробляти операцію, додаємо моделі деталі та заготовки, розміщуючи їх в геометричній групі WORKPIECE.

Орієнтуємо систему координат MCS_MILL, відносно деталі (рис. 1.21). Створюємо інструмент – кінцеву фрезу на базі інструмента зі стандартної бібліотеки.

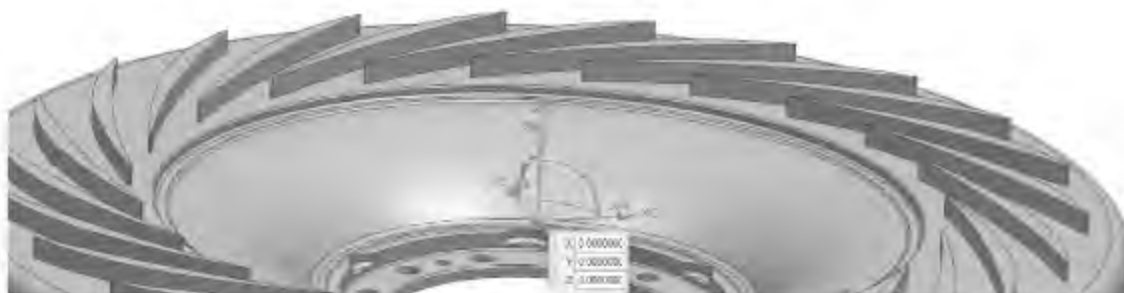


Рисунок 1.21 – Система координат верстата

Далі створюємо два переходи фрезерування (чорновий та чистовий) на базі «операції обробки пола та стінок». На чорновому переході застосовується метод MILL_ROUGH, на чистовому – MILL_FINISH. Задаємо в цій операції геометрію, що обмежує області зняття припуску. Задаємо режими різання. Стратегію зняття припуску задаємо шаблоном різання – «Вздовж деталі». Генеруємо траєкторію руху інструмента. І нарешті виконуємо постпроцесування і отримуємо керуючу програму в G-кодах. На рис. 1.22 показана заготовка в процесі зняття припуску, отримана командою візуалізації траєкторії інструмента. На рис. 1.23 та рис. 1.24 показана траєкторія руху фрези при чорновому та чистовому проходах.

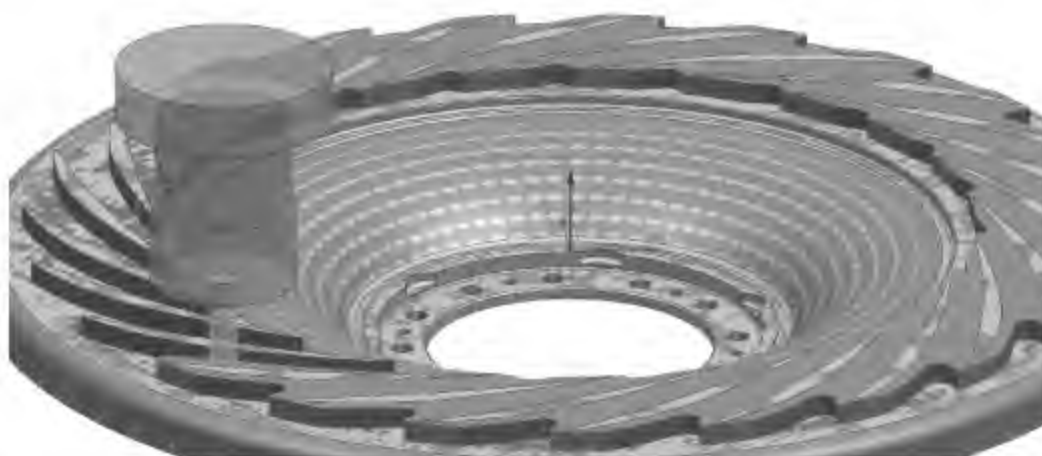


Рисунок 1.21 – Заготовка в процесі фрезерування



Рисунок 1.22 – Трасекторія руху фрези на чорновому переході

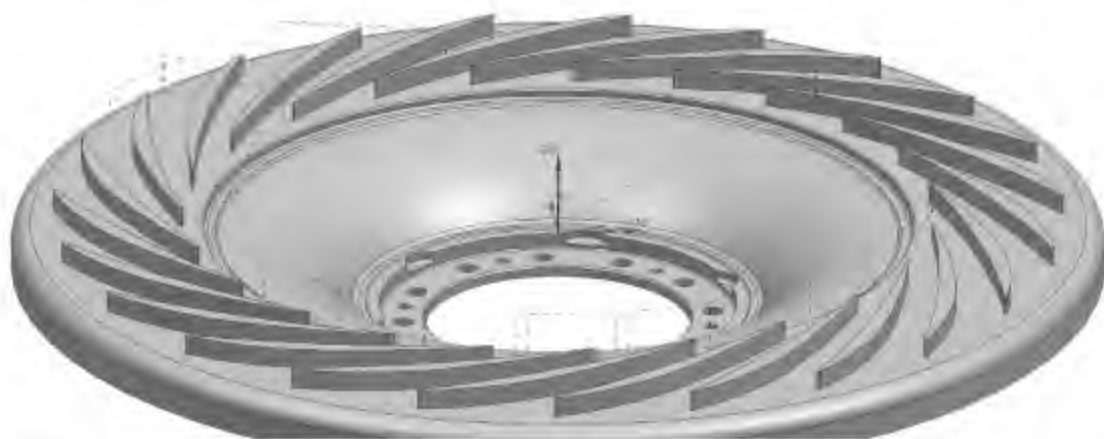


Рисунок 1.22 – Трасекторія руху фрези на чорновому переході

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Верстатні пристосування застосовують для установки заготовок на металорізальні верстати, при цьому повинні забезпечуватися: надійне утримання заготовки при обробці, необхідна точність обробки і дотримання техніки безпеки.

Спроектуємо робоче пристосування для операції 040, на котрій виконується обробка 6 отворів $\varnothing 6,5$. Пристосуванням служить кондуктор (рис. 2.1). Напрямок свердла забезпечується змінними кондукторними втулками. Обробка проводиться на радіально-свердлильному верстаті 2М55, до столу верстата кріпиться корпус, на який встановлюється деталь, що оброблюється. Центрування кондуктора на оброблюваній деталі здійснюється по поверхні $\varnothing 278,8h7_{-0,052}$ мм.

Закріплення оброблюваної деталі здійснюється за допомогою пневматичного затискача, який складається з поршня, штока, ущільнень, кільця, буферів. Зусилля затиску передається через стакан. Наявність сережки дозволяє швидко встановлювати та знімати кондуктор.

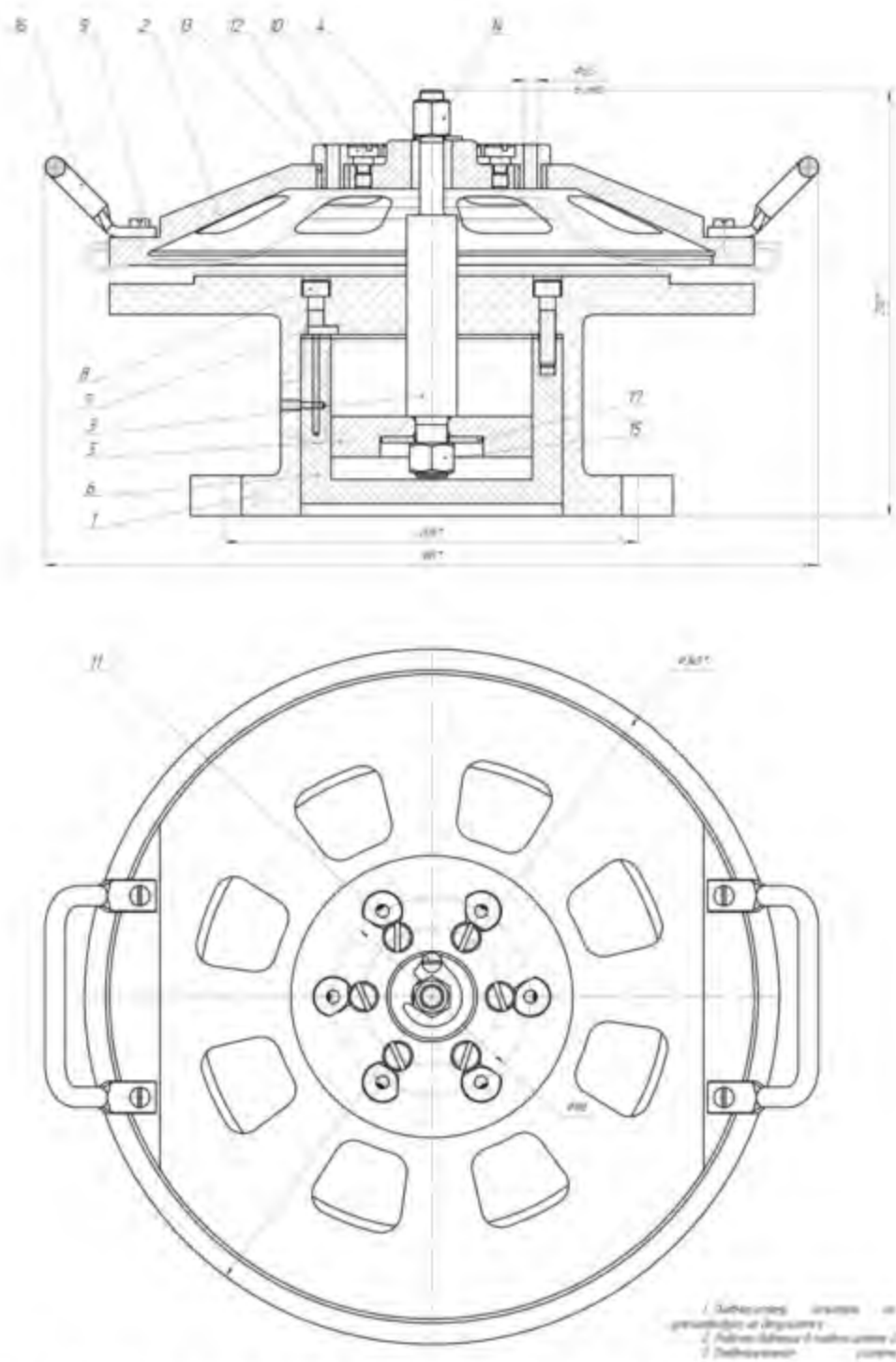


Рисунок 2.1 – Кондуктор для свердління 6 отворів $\varnothing 6,5$

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність

Похибка установки деталі в пристосуванні враховується при розрахунку припусків на механічну обробку деталі і залежить від конструкції пристосування.

Похибка установки – це різниця граничних відхилень вимірювальної бази щодо встановленого на розмір ріжучого інструменту, що виникає в процесі базування і закріплення заготовки.

Кондуктор на оброблювану деталь встановлюється с зазором. При цьому вимірювальною базою є вісь деталі, а настроювальною базою – вісь кондуктора.

Похибка установки визначається за формулою:

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{закр}}^2} \quad (2.1)$$

де $\varepsilon_{\text{закр}}$ – похибка закріплення;

$\varepsilon_{\text{баз}}$ – похибка базування – частина похибки установки, що є розбіжністю вимірювальної та настроювальної баз і розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = \frac{S_{\text{max}}}{2} = \frac{D_{\text{к max}} - D_{\text{д min}}}{2} = \frac{278,869 - 278,748}{2} = 0,0605 \text{ мм}, \quad (2.2)$$

де $D_{\text{д}} = \phi 278,8h7_{(-0,052)}$; $D_{\text{к}} = \phi 278,8G7_{(+0,069)}^{(+0,017)}$.

Тоді $\varepsilon_{\text{вст}} = \varepsilon_{\text{баз}} = 0,08 \text{ мм}$.

З практики відомо, що похибка установки не повинна перевищувати 1/3 допуску на розмір обробки, тобто

$$\varepsilon_{\text{вст}} \leq \frac{1}{3}Td \quad (2.3)$$

$$0,08 \leq \frac{1}{3} \cdot 0,87 \text{ мм.}$$

$$0,08 \leq 0,29 \text{ мм.}$$

Методика розрахунку на точність базується на положенні, що допуск на розмір обробки повинен бути більше або дорівнювати сумі похибок, що безпосередньо виникають в процесі обробки.

У свердлильних верстатах різальний інструмент встановлюється на розмір обробки за допомогою кондукторних втулок. Розрахункова схема показана на рис. 2.2.

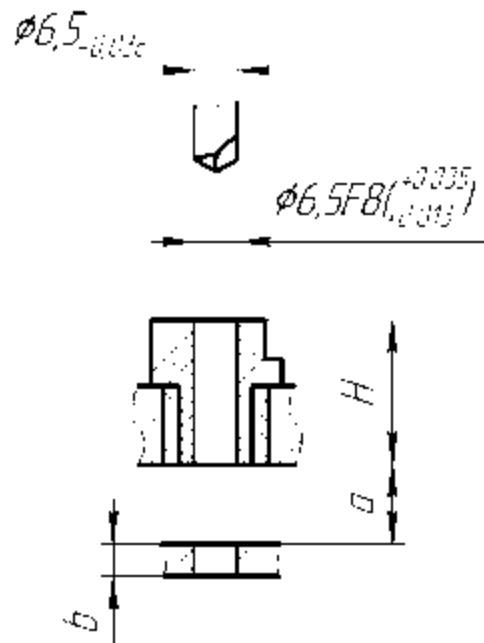


Рисунок 2.2 Розрахункова схема для розрахунку пристосування на точність

Розрахунок полягає у визначенні виконавчих розмірів на розташування осей кондукторних втулок і допусків на ці розміри.

1. Визначаємо номінальні розміри між осями кондукторних втулок. Оскільки допуски на оброблені отвори задаються симетрично, то $L_k = L_d$ мм.

2. Розраховуємо допуск на розміри кондуктора за формулою:

$$T_k = T_d - k \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \left(\Delta_1 \cdot \frac{H + 2 \cdot a}{H}\right)^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2}, \quad (2.4)$$

де $T_d = 0,87$ мм – допуск на розмір обробки деталі;

$\varepsilon_6 = 0,0605$ мм – похибка базування заготовки в пристосуванні;

$\varepsilon_3 = 0$ мм – похибка закріплення заготовки в пристосуванні;

$k = 1 \dots 1,2$;

Δ_1 – частка похибки обробки, що залежить від зміщення осі свердла відносно отвору змінної втулки:

$$\Delta_1 = S_{max} = d_{o\ max} - d_{св\ min}, \quad (2.5)$$

де S_{max} – максимальний зазор між змінною втулкою:

$$\Delta_1 = S_{max} = 6,535 - 6,464 = 0,071 \text{ мм} \quad (2.6)$$

S_{max} – максимальний зазор між змінною втулкою $d_{вт} = 6,5F8\left(\begin{smallmatrix} +0,035 \\ +0,013 \end{smallmatrix}\right)$ та свердлом $d_{св} = 8_{-0,03}$.

Δ_2 – частка похибки обробки, що залежить від зсуву осі змінної втулки щодо осі постійної втулки:

$$\Delta_2 = S_{max} = d_{оппк\ max} - d_{кв\ min} = 11,081 - 10,983 = 0,035 \text{ мм}, \quad (2.7)$$

де $d_{кв} = 11g\left(\begin{smallmatrix} -0,006 \\ -0,017 \end{smallmatrix}\right)$; $d_{оппк} = 11H7^{+0,018}$.

Δ_3 – частка похибки обробки, викликана зміщенням осі свердла внаслідок ексцентриситету обох втулок

$$\Delta_3 = 2e = 2 \cdot 0,005 = 0,01 \text{ мм}, \quad (2.8)$$

де $e = 0,005$ – ексцентриситет кондукторної втулки;

$\Delta_4 = 0,02$ мм [11, т. 5.19, с. 87] – частка похибки обробки, що залежить від величини допустимого зносу змінної втулки по направляючої діаметру щодо отвори змінної втулки.

Δ_5 – частка похибки обробки, що враховує перекошування інструмента в процесі обробки:

$$\Delta_5 = \Delta_1 \frac{H + 2a}{H}, \quad (2.9)$$

де $a = 12$ мм – відстань між кондукторною плитою і деталлю, що обробляється. для виходу стружки;

$H = 33$ мм – висота кондукторної втулки.

$$\Delta_5 = 0,071 \cdot \frac{22 + 2 \cdot 4,5}{22} = 0,1 \text{ мм.}$$

Таким чином отримаємо:

$$T_k = 0,87 - 1 \cdot \sqrt{0,0605^2 + 0^2 + 0,1^2 + 0,035^2 + 0,005^2 + 0,02^2} = 0,74 \text{ мм.}$$

Приймаємо $T_k = \varnothing 98 \pm 0,05$ мм.

З розрахунку видно, що дане пристосування по точності виконання відноситься до пристосувань нормальної точності.

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу

Розрахунок необхідної зусилля кріплення заготовки в процесі обробки при свердлінні декількох отворів одночасно проводиться за формулою:

$$Q = \frac{3k\Delta_p n}{f \left(\frac{D_1^3 - D_2^3}{D_1^2 - D_2^2} \right)}, \quad (2.10)$$

де $k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6$,

$k_0 = 1,5$ – гарантований коефіцієнт запасу;

$k_1 = 1$ – коефіцієнт, що враховує коливання сил різання;

$k_2 = 1,15$ – коефіцієнт, що враховує вид обробки, оброблюваний матеріал і нерівномірне зношування ріжучого інструменту, (свердління) вибирається з [11, т. 6.1, с.101];

$k_3 = 1$ – коефіцієнт, що враховує коливання уривчастість обробки, умови плавного різання;

$k_4 = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує сталість сил затиску;

$k_5 = 1$ – коефіцієнт, що характеризує ручні затискачі з точки зору зручності закріплення деталі

$k_6 = 1$ – коефіцієнт, що враховує вид опорної поверхні, суцільна опора;

$k = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1$.

n – кількість одночасно оброблюваних отворів;

Δ_p – величина неврівноваженої сили, визначається так

$$\Delta_p \approx 0,0153(1 - f)P_{oc}, \quad (2.11)$$

де $P_{oc} = 2500$ Н – осьова сила різання;

В такому випадку $\Delta_p \approx 0,0153(1 - 0,25) \cdot 2500 = 29$ Н;

$f = 0,25$ – коефіцієнт тертя спокою

$D_1 = 300$ мм, $D_2 = 278,8$ мм.

Підставивши ці значення в формулу (2.10) отримаємо:

$$Q = \frac{3 \cdot 2,07 \cdot 29 \cdot 1 \cdot 1000}{0,25 \left(\frac{300^3 - 278,8^3}{300^2 - 278,8^2} \right)} = 1641 \text{ Н.}$$

Необхідний тиск в пневоциліндрі:

$$p = \frac{W}{S}, \quad (2.12)$$

де S – площа перерізу поршня.

Попередньо приймасмо тиск повітря в пневмосистемі цеху 4 атм або 0,4 МПа.

Сила на штоку пневоциліндра W визначається за формулою:

$$W = 2 \frac{\pi \cdot (D - d)^2}{4} \cdot p \cdot \eta, \quad (2.13)$$

де $\eta = 0,85 \dots 0,9$ – ККД, що враховує втрати на тертя.

Звідки визначасмо діаметр поршня за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\pi \cdot p \cdot \eta}} + d, \quad (2.14)$$

$$D = \sqrt{\frac{2 \cdot 1641}{3,14 \cdot 400000 \cdot 0,85}} + 25 \approx 80,42 \text{ мм.}$$

Застосовуємо пневоциліндр з діаметром циліндра $D = 100$ мм, та діаметром штока $d = 25$ мм.

2.2 Проектування контрольного пристосування

Контрольне пристосування призначене для контролю радіального та торцевого биття (рис. 2.3).

Контрольне пристосування (рис. 2.3) складається з нахиленої плити, яка встановлюється на чотирьох ніжках різної висоти. В плиті по діагоналі профрезеровані пази, в котрих розташовані ролики по яким обертається деталь, що контролюється. На стійках встановлюються індикатори годинникового типу, один з яких контролює радіальне биття поверхні, а інший – торцеве. Для настройки пристосування використовується еталонна деталь.

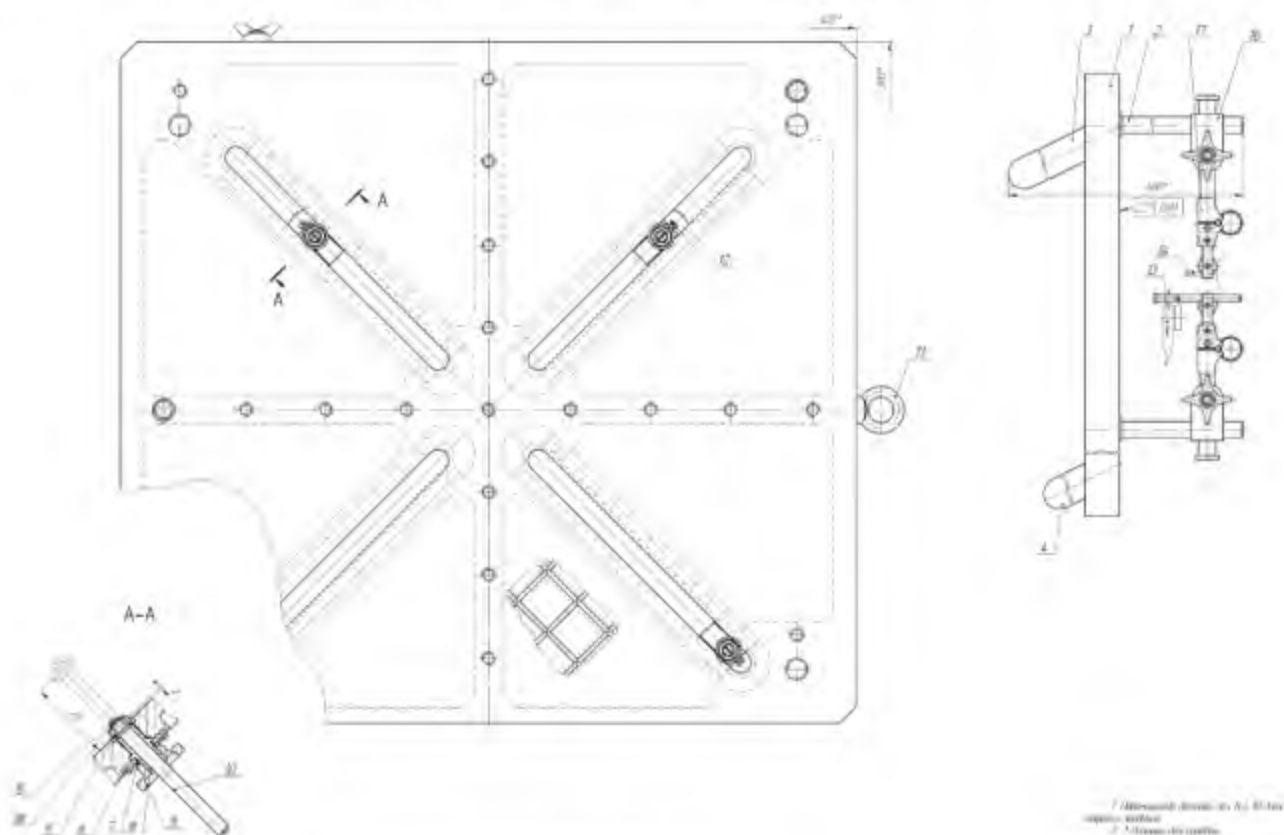


Рисунок 2.3 – Контрольне пристосування

3 ЗАСОБИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РОЗМІРІВ

Найбільш важливими елементами засобів автоматичного контролю є вимірювальні пристрої, які можуть мати шкалу, бути безшкальними або комбінованими. Шкальні прилади, що мають шкалу для візуального спостереження, вимагають постійної присутності оператора у вимірювальній позиції. В автоматичному контролі шкальні прилади застосовують для настройки безшкальних приладів або періодичної перевірки правильності роботи автоматичних засобів вимірювання. Безшкальні вимірювальні пристрої використовують при контролі граничних значень контрольованих параметрів. Комбіновані вимірювальні пристрої об'єднують метрологічні можливості приладів перших двох груп.

Всі автоматичні засоби активного і пасивного контролю в якості вимірювального пристрою використовують первинні перетворювачі (датчики), які в залежності від принципу дії поділяються на пневматичні, електроконтактні, індуктивні, ємнісні, механотронні, фотоелектричні, радіоактивні і ін. Первинні перетворювачі (датчики) перетворюють зміну контрольованого лінійного розміру в вихідний сигнал інформації, який використовується для управління ходом технологічного процесу [301].

3.1 Пневматичні засоби вимірювання

В даний час пневматичні засоби вимірювання знаходять широке застосування при контролі розмірів зовнішніх і внутрішніх циліндричних отворів, розмірів малих отворів, малих переміщень, суми або різниці відхилень декількох розмірів. Пневматичні вимірювання знайшли застосування в приладах автоматичного й активного контролю в контрольно-вимірювальних і сортувальних автоматах, вимірювальних пристроях і системах.

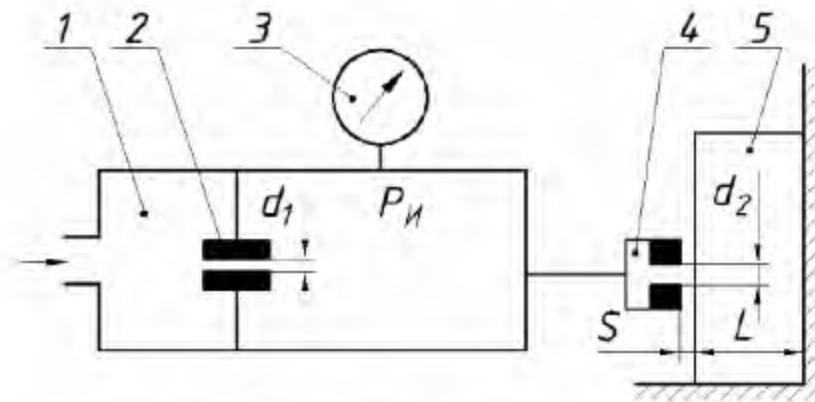
Ці прилади мають високу надійність в роботі, високу точність (ціна поділки шкали у цих приладів може досягати значення 0,0001 мм), просту обслуговування і низьку вартість. Оскільки ці прилади можуть використовувати безконтактний метод, вони дозволяють з високою точністю вимірювати розміри деталей, що легко деформуються, виготовлених з еластичних матеріалів або тонкостінних виробів. Крім цього, пневматичний метод дозволяє передавати вимірювальну інформацію на значні відстані без спотворення. Це дозволяє поміщати в зручне для оператора місце звітний пристрій, залишивши в зоні вимірювання лише мініатюрне вимірювальне сопло.

Необхідність системи стисненого повітря, спеціальної апаратури для її очищення і стабілізації тиску, а також відносно висока інерційність дещо звужують сферу застосування пневматичних приладів.

Розглянемо принцип дії пневматичних приладів. Якщо стиснене повітря, що знаходиться в камері (повітропроводі) випускати через невеликий отвір (сопло) в атмосферу, то кількість повітря, що витікає в одиницю часу, (витрата) буде залежати від тиску в камері і площі робочого перерізу сопла. При постійному тиску в камері витрата буде залежати тільки від розмірів вихідного отвору.

Якщо поруч з соплом поставити який-небудь предмет, який заважає виходу повітря, то тиск в камері зростає. Воно буде тим більше, чим ближче до торця сопла буде стояти цей предмет і буде падати при збільшенні зазору між ними. Таке поєднання сопла і предмета отримало назву «сопло-заслінка». При пневматичних вимірах в якості заслінки може бути використана поверхня вимірюваної деталі (при безконтактному методі) або елемент приладу, який змінює своє положення щодо сопла зі зміною контрольованого розміру.

Пневматичні прилади за принципом перетворення діляться на прилади, що вимірюють зміни тиску і зміну витрати повітря. Прилади, що працюють за першим принципом, вимірюють зазор між соплом і заслінкою за зміною тиску в камері або повітропроводі. Зміна тиску реєструється за шкалою манометра, проградуйованою в одиницях довжини. Ці прилади називають манометричними. Принципова схема манометричного приладу приведена на рис. 2.1.



1 – робоча камера; 2 – вхідне сопло; 3 – манометр; 4 – вимірювальне сопло; 5 – деталь, що вимірюється

Рисунок 3.1 – Пневматичний пристрій манометричного типу

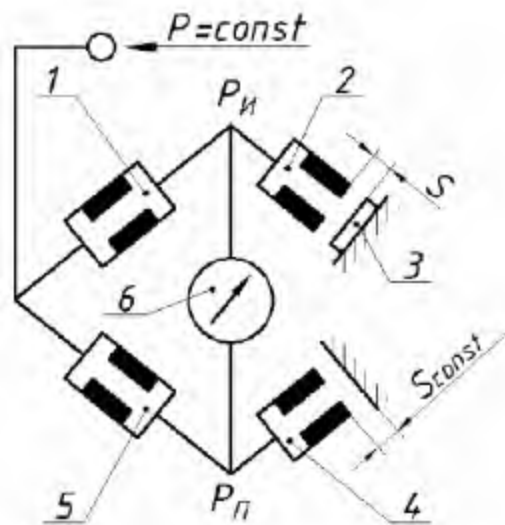
У робочу камеру 1, подається попередньо очищене від пилу, вологи, масла і т.п., повітря. Тиск в цій частині камери постійний. У перегородці камери розташоване вхідне сопло 2 діаметром d_1 . З правої частини камери повітря виходить в атмосферу через вимірювальне сопло 4 діаметром d_2 . При цьому витрата буде залежати від зазору S між соплом і заслінкою (поверхнею деталі) 5. Зміна зазору S (розміру деталі) буде викликати пропорційну зміну вимірювального тиску $P_{И}$ в камері між вхідним і вимірювальними соплами. Зміна тиску, реєструється манометром 3.

Більш досконалою схемою вимірювання є диференціальна схема (рис. 3.2), що складається з двох гілок. В одній гілці, що складається з вхідного сопла 1 і вимірювального сопла 2, яке контролює зміну розміру деталі 3, витрата визначається вимірювальним тиском $P_{И}$. Інша гілка, що включає вхідне сопло 5 і сопло 4 з попередньо встановленим зазором S_{const} , має постійну витрату, якому відповідав би тиск $P_{П}$. Ця гілка зазвичай носить назву «гілка протитиску».

Диференціальна схема менш чутлива до коливань робочого тиску, так як вона реєструє різницю двох тисків $P_{И}$ та $P_{П}$. В якості вимірювача цієї різниці застосовують сильфонні, мембранні, рідше – рідинні манометри. Диференціальна схема може бути застосована також для вимірювання різниці

розмірів двох деталей (зразковою і оброблюваною) або різниці двох розмірів однієї деталі (овальність, конусність, огранка). В цьому випадку гілка протитиску замінюється другою вимірювальною гілкою.

Найбільш широко пневмо вимірювальні прилади застосовуються в якості засобів активного контролю на фінішних операціях. Схема приладу активного контролю при зв'язаній обробці будується таким чином, щоб його показання або видача команд на виконавчі органи верстата залежали тільки від різниці розмірів деталей. Прилад активного контролю для сполученого шліфування диференціального типу (рис. 3.3) має сильфонний відліково командний пристрій, в якому замість гілки протитиску включена гілка 1 для вимірювання діаметра D_1 втулки 2. Інша гілка скоби 4 служить для вимірювання діаметра D_1 оброблюваного вала 5.

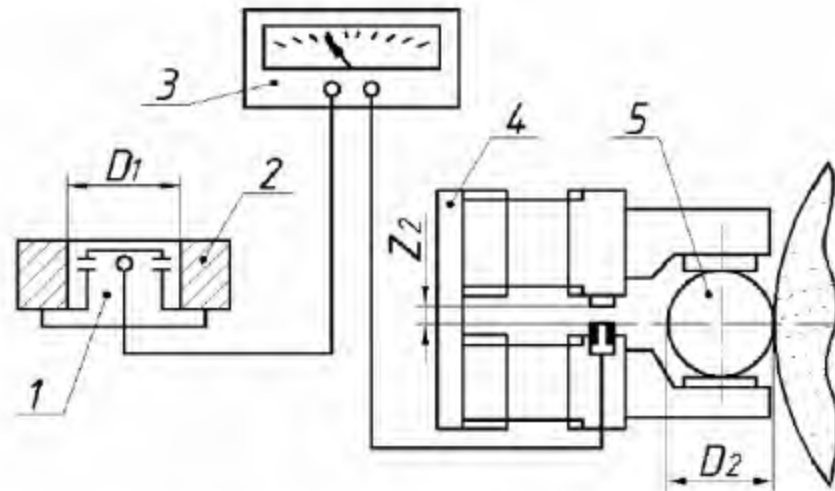


1 – вхідне сопло; 2 – вимірювальне сопло; 3 – деталь; 4 – сопло з попередньо встановленим зазором; 5 – вхідне сопло

Рисунок 3.2 – Диференціальна схема пневматичного приладу

Для того щоб незалежно від діаметра D_1 відліково-командний пристрій 3 видавав команду на закінчення обробки вала при досягненні зазором (натягом) необхідного значення, необхідно, щоб обидві вимірювальні гілки мали однакове передавальне відношення. При більшому діаметрі чергової втулки, тобто при

збільшенні зазору на певне значення, команда на закінчення обробки буде видана тільки тоді, коли зазор Z_2 збільшиться на це ж значення, тобто діаметр D_2 шліфуємого вала побільшає на це ж значення. Таким чином, зазор в сполучених парах буде постійним.



1 – гілка для вимірювання діаметра D_1 ; 2 – втулка; 3 – відліково-командний пристрій; 4 – гілка для вимірювання діаметра D_2 ; 5 – вал

Рисунок 3.3 – Схема приладу диференціального типу для зв'язаного шліфування

2.2 Електроконтактні засоби вимірювання

Електроконтактні перетворювачі перетворюють лінійні переміщення вимірювального стрижня в електричні сигнали – команди, які реалізуються за допомогою замикання або розмикання електричних контактів.

Електроконтактні перетворювачі поділяються на граничні і амплітудні. Перші здійснюють видачу сигналів – команд при досягненні контрольованим розміром заданих граничних значень. Другі застосовують для контролю відхилення форми і видають сигнал – команди, коли відхилення від правильної геометричної форми деталі досягло заданого допустимого значення незалежно

від розміру, самої деталі. У приладах активного контролю використовують тільки граничні електроконтактні перетворювачі. Вони ж найбільш часто застосовуються в засобах автоматичного контролю.

У електроконтактному перетворювачі моделі 228 (рис. 2.4) контрольоване переміщення сприймається наконечником 1 вимірювального стрижня 4 і далі через твердосплавний ніж 23 і корундовий штифт 24 передається на важіль 25, контакти якого при певній величині переміщення замикають або розмикають електричний ланцюг, що проходить через відповідну пару вольфрамових контактів 19, 20 або 8, 28.

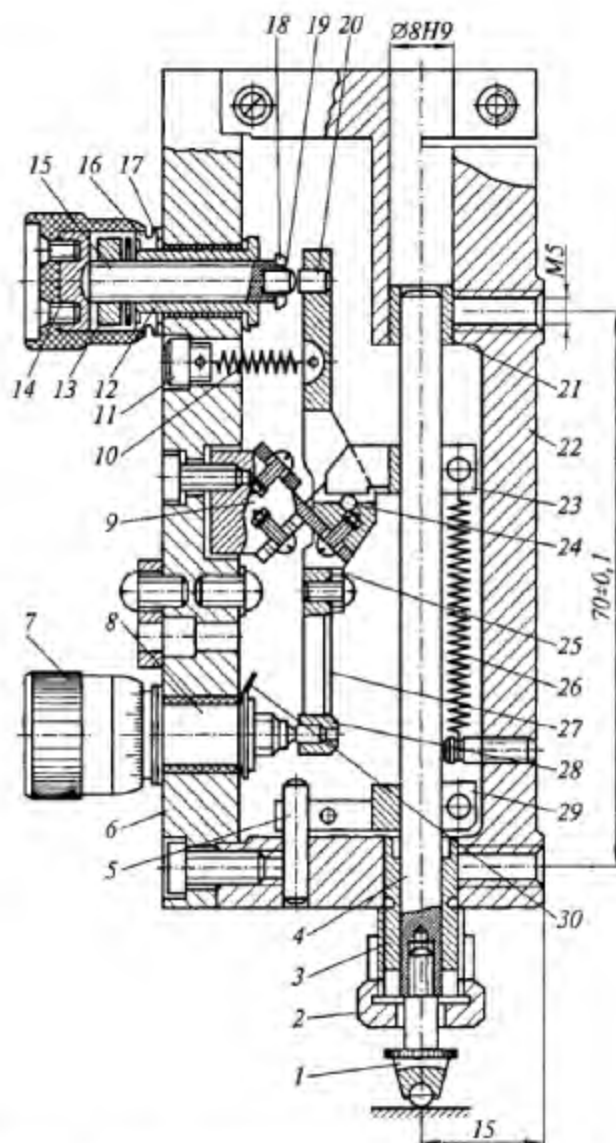


Рисунок 3.4 – Конструкція електроконтактного перетворювача моделі 228

Переміщення вимірювального стрижня в бронзових втулках 3 і 21 обмежується поворотом штифта 5 і вилкою 29 з регульованим по ширині пазом. Вимірювальне зусилля створюється пружиною 26, певна величина зусилля замикання електричних контактів забезпечується пружиною розтягування 10 і плоскою пружиною 27. Більше зусилля замикання викликає значний механічний знос контактів.

Електричний зв'язок контактів зі схемою включення здійснюється за допомогою мідних пелюстків 30. Налаштування перетворювача на видачу сигналу при заданій контрольованій величині роблять настроювальними гвинтами 15, які з'єднані з мікрометричною гайкою 12 і барабаном 7 (шкала проградуйована в одиницях довжини з ціною поділки 2 мкм) і ізолювані від планки 6 текстолітовими втулками 16 і 17. Переміщення гвинтів обмежується кільцем 18.

Осьовий люфт гвинта 15 усувається пружинною шайбою 14, величину зусилля якої регулюють гайкою 13. Важіль 25 ізолюваний від корпусу 22 і планки 6 корундовим штифтом 24, текстолітовими прокладками, встановленими під основу пружинного хрестоподібного шарніра 9, і текстолітовими держателем 11. Гайка 2 мікроподачі служить для переміщення вимірювального стрижня при налаштуванні перетворювача за шкалою мікрометра (що закріплюється в отворі діаметром 8Н9), наконечник якого впирається в верхній торець вимірювального стрижня 4.

Перетворювач може працювати в будь-якому положенні. Для його закріплення служать два різьбових отвори М5.

В даний час багато контрольних та контрольно-сортувальних автоматів, що випускаються промисловістю, оснащені електроконтактними перетворювачами, укомплектованими командними і світлофорними пристроями, що дозволяють здійснювати візуальні спостереження і автоматичне керування виконавчими органами верстатів.

Основними недоліками цих датчиків є підгоряння контактів і необхідність їх періодичної зачистки, а також чутливість до потрапляння вологи в корпус перетворювача.

3.3 Індуктивні і ємнісні засоби вимірювання

В індуктивних приладах використовують властивість котушки змінювати свій реактивний опір при зміні деяких її параметрів, що визначають величину індуктивності.

Для отримання якомога більшої індуктивності котушку, як правило, виконують з магнітопроводом з феромагнітного матеріалу (рис. 3.5). Один з елементів магнітопроводу (якір 3) виконують рухомим, і його положення відносно нерухомої частини магнітопроводу 2 визначає величину зміни магнітного опору кола, а отже, і індуктивності котушки перетворювача 1.

Зміна індуктивності може відбуватися або в результаті зміни зазору δ між якорем і сердечником – магнітопроводом котушки (рис. 3.5 а), або в результаті зміни площі перекриття якорем поверхні сердечника (рис. 2.5 б, в). Перетворювачі, що використовують принцип зміни зазору, мають підвищену чутливість, але менший діапазон вимірювання. Ціна поділки цих приладів складає від 0,05 мм до 5 мкм. Переваги індуктивних датчиків – малі габарити, аналогова форма сигналу, високе передавальне відношення і широкі можливості по передачі, запам'ятовуванню та проведенню різного роду математичних перетворень і обчислень на ЕОМ. Однак ці прилади складніше і дорожче електрoконтактних і пневматичних.

Індуктивні перетворювачі можуть бути простими (рис. 3.5 а, б) і диференціальними (рис. 3.5 в). Прості перетворювачі містять одну вимірювальну гілку, а диференціальні – дві. В індуктивних перетворювачах з диференціальною схемою переміщення якоря викликають рівні зміни індуктивності одночасно в двох однакових котушках, але з різними знаками. Така конструкція менш сприйнятлива до коливань частоти і напруги живильної мережі і змін напруги мережі, так як ці перешкоди викликають однакові відхилення характеристик негативної і позитивної вимірювальних ланцюгів.

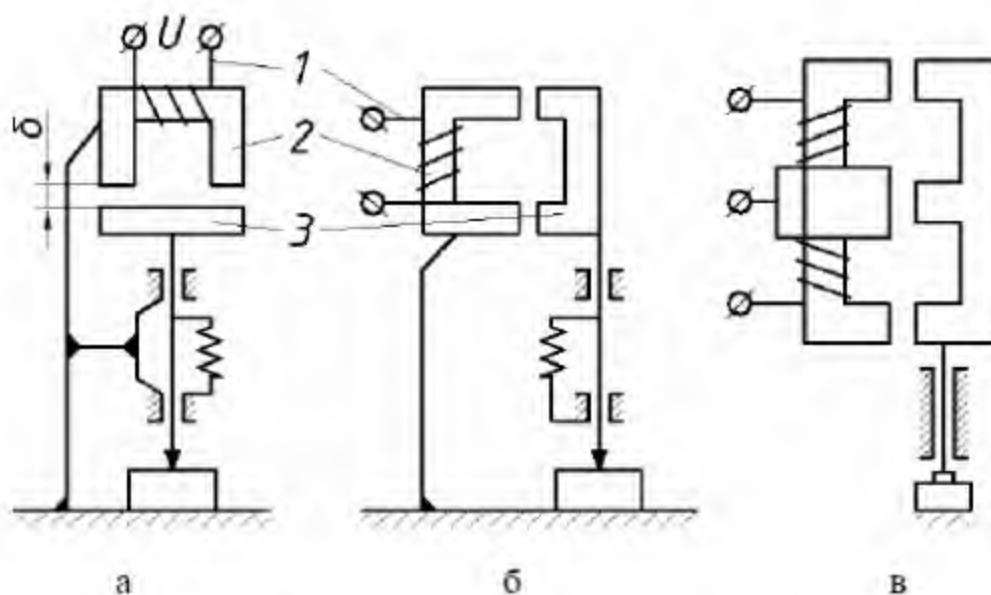


Рисунок 3.5 – Схеми індуктивних перетворювачів

Крім цього, диференціальні датчики більш чутливі, ніж прості, що використовують аналогічні методи вимірювання індуктивності.

За конструктивним оформленням індуктивні перетворювачі поділяють на перетворювачі осьової і бічного дії. Перші в основному застосовуються для вимірювання лінійних розмірів, другі дуже зручні при контролі величини торцевого биття.

У ємнісних приладах в якості перетворювача використовується конденсатор, ємність якого змінюється відповідно до лінійного переміщення вимірювального стрижня, а електронний блок являє собою пристрій, призначений для вимірювання ємності (рис. 3.6).

Ємнісні перетворювачі являють собою плоскопаралельний (рис. 3.6 а, в) або циліндричний (рис. 3.6 б) конденсатор, у якого є рухома обкладка, поєднана з вимірювальним стрижнем і нерухома обкладка. Вони розділені повітряним зазором. Зміна ємності в цих перетворювачах може здійснюватися аналогічно індуктивному перетворювачу або за рахунок зміни відстані між обкладками (рис. 3.6 а, в), або за рахунок зміни площі їх взаємного перекриття (рис. 3.6 б).

Ємнісні перетворювачі можуть бути простими (рис. 3.6 а, б) і диференціальними (рис. 3.6 в). Прості, що працюють за методом вимірювання

площі взаємного перекриття (рис. 3.6 б), являють собою два співвісних циліндра (зовнішній і внутрішній), розділених повітряним зазором.

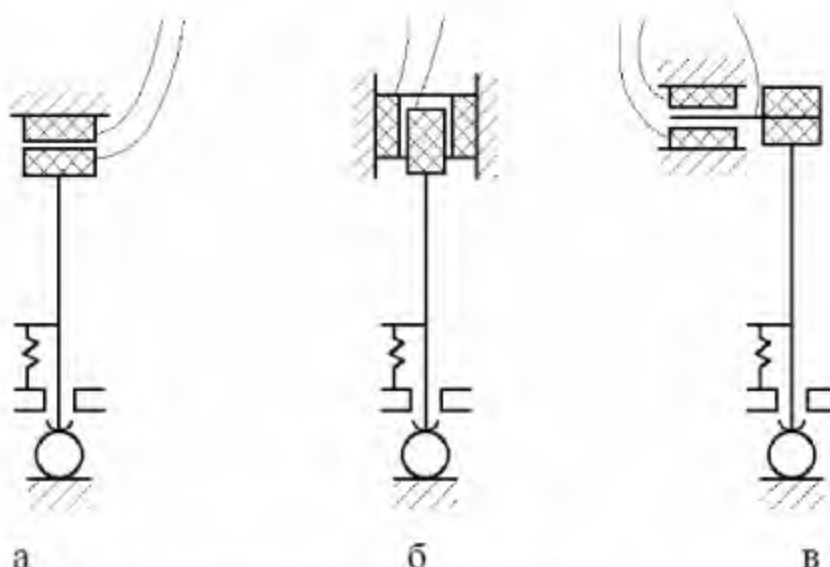


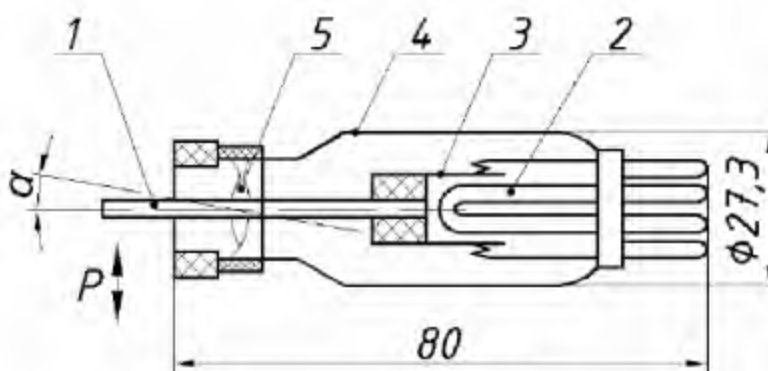
Рисунок 3.6 – Схеми ємнісних перетворювачів

Диференціальні перетворювачі також використовують обидва методи зміни ємності. При змінному зазорі (рис. 3.6 в) вони мають в нерухомій частини парне число (як мінімум дві) плоских обкладинок або прямокутної форми і як мінімум – одну рухливу обкладку, з'єднану з вимірювальним стрижнем і розташовану між ними. Диференціальні перетворювачі зі змінною площею взаємного перекриття також мають дві нерухомі і одну рухому обкладання циліндричної форми. Незважаючи на складність конструкції, диференціальні датчики застосовують частіше, як мають більш високу чутливість і менш сприйнятливі до зовнішніх впливів.

Ємнісні датчики, володіючи рядом переваг (висока чутливість, великий діапазон вимірювань, малі вимірювальні зусилля), мають обмежене застосування через великий електричний опір, значну чутливість до впливів зовнішнього середовища (особливо до перепадів температури, що змінює як площа обкладинок, так і відстань між ними), впливу з'єднувального кабелю перетворювача при промисловій частоті струму мають недостатню потужність, що викликає необхідність застосування генераторів високих частот для їх живлення.

3.4 Механотрони

Механотрони являють собою електровакуумний прилад, що містить в схемі рухливий електрод, який переміщується механічним шляхом [4]. Механотрон сконструйований за принципом радіолампи, яка є вакуумним діодом або тріодом. Застосовуваний частіше вакуумний діод має нерухомий катод і рухливий анод. Механотрон виконаний у вигляді скляного балона 4 (рис. 3.7), в одному торці якого розташовані електричні виводи (ніжки лампи), а в іншому закріплена мембрана 5, виготовлена зі сталевих стрічки. Крізь мембрану проходить стрижень 1, який може безпосередньо бути вимірювачем, або через проміжну передачу сприймати переміщення вимірювального стрижня контрольного пристрою. Катод 2 разом з ниткою розжарювання кріпиться до скляного балона, а аноди 3 до внутрішнього кінця стрижня 1. Переміщення стрижня змінює відстань між анодом і катодом, викликаючи цим зміну анодного струму. Слід, однак, мати на увазі, що при досягненні певної (мінімальної) відстані між анодом і катодом анодний струм механотрону перестає залежати від переміщень стрижня і лампа переходить в режим насичення.



1 – стрижень; 2 – катод; 3 – анод; 4 – скляний балон; 5 – мембрана

Рисунок 2.7 – Схема механотрону

Механотрони досить чутливі до зміни температури, що викликає деформацію анода і катода і зазору між ними, тому їх включають за 20–30 хвилин до початку роботи для «прогріву». Діапазон вимірювань механотрону становить від -100 мкм до -1000 мкм, ціна ділення може мати значення десятої частки мікрометра. Точність механотрону залежить від стабільності напруги живлення і характеристики лампи. Недолік механотронів невисока довговічність (від 1000 до 4000 годин).

Механотрон застосовуються поряд з індуктивними і ємнісними перетворювачами. Незважаючи на великі габарити в порівнянні з цими перетворювачами, механотрон мають більш просту вимірювальну схему і досить часто застосовуються в автоматичних засобах післяопераційного контролю.

3.5 Фотоелектричні і радіоактивні вимірювальні засоби

До фотоелектричних вимірювальних засобів відносять прилади, які в якості перетворювачів використовують фотоелементи (фотоприймачі). Фотоелементи, будучи фотоелектричними перетворювачами, перетворюють світлові сигнали в електричні, причому електричний сигнал залежить від освітленості приймача.

Випускають датчики чотирьох типів, засновані на зміні:

площі (рис. 3.8 а) вхідної зіниці (світловий потік перекривається або заслінкою, пов'язаною з деталлю Д, або кромкою самої деталі);

відстані від джерела світла до фоточутливої поверхні (світловий потік змінюється шляхом переміщення джерела світла або фотоприймача, викликаного зміною контрольованої величини);

сили світла (рис. 3.8 б) джерела (світловий потік змінюється при зміні відбивної здатності контрольованої поверхні).

Фотоелектричні прилади дозволяють здійснювати вимірювання контактним і безконтактним методами (рис. 3.8а). Цей метод іноді називають методом інтенсивності, який полягає в тому, що в залежності від розміру деталі

або від її переміщення перекривається частина променів, що йдуть від джерела світла до фотоприймача, що викликає зміну струму в електричному ланцюзі. За цією зміною судять про розмір деталі або про величину її переміщення. Світловий пучок від джерела 1 через оптичну систему 2 і щілинну діафрагму 3 падає на фотоеlement 4. Якщо на шляху проходження променів поставити рухливу заслінку 5 пов'язану з деталлю Д, то в залежності від її розміру, частина променів не потрапляє на приймальню поверхню фотоеlementa. Це викличе зміну струму в ланцюзі і буде зафіксовано на шкалі приладу.

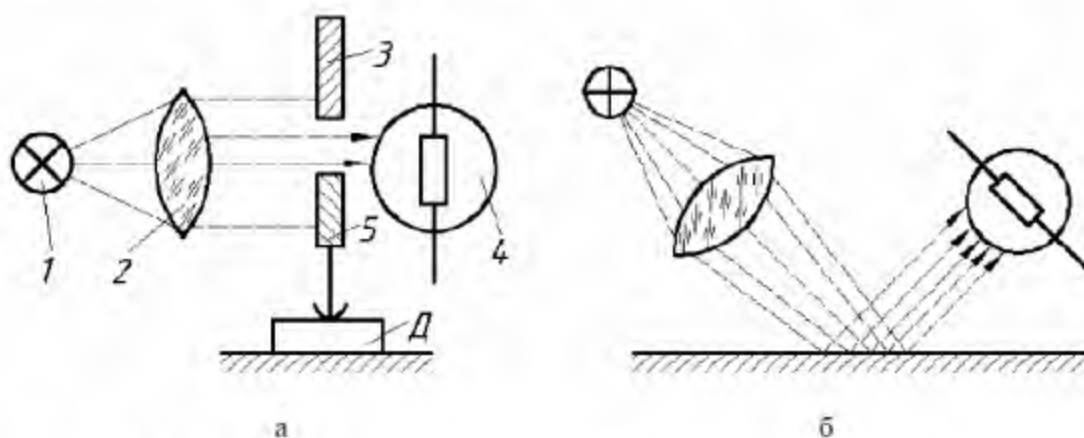


Рисунок 3.8 – Схеми фотоелектричних перетворювачів

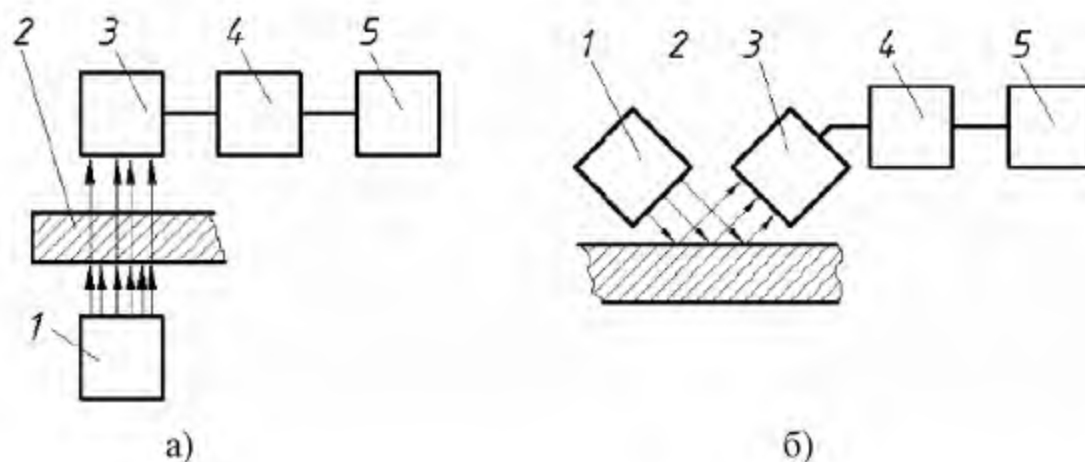
Застосування фотоеlementів для визначення розмірів деталі вкрай обмежено, так як перетворювач має досить низьку точність. Це пояснюється тим, що на результати вимірювання впливає стороннє світло, що падає на еlement, коливання яскравості джерела освітлення і напруги живлення.

Фотоелектричні перетворювачі в приладах автоматичного контролю виконують в основному завдання фіксації світлового потоку. У схемах таких приладів фотоеlementи виконують роль реле.

Експлуатуючи фотоелектричні прилади, необхідно пам'ятати, що при тривалій роботі спостерігається старіння фоторезисторів, що виражається в тому, що опір починає змінюватися незначно зі зміною освітленості. Тому рекомендується періодично їх вимикати. Після перерви характеристика фоторезистора відновлюється.

Дія радіоактивних приладів засноване на фіксації радіоактивних випромінювань. Для визначення лінійних розмірів використовують методи, засновані на поглинанні радіоактивних випромінювань при проходженні через матеріали або їх часткове відбитті. Радіоактивні прилади застосовуються для визначення товщини стінок або виробів, доступ до яких можливий тільки з одного боку.

На рис. 3.9 показані дві схеми вимірювання товщини виробу радіоактивними приладами: з проникаючим через виріб випромінюванням і з відбиванням від виробу випромінюванням.



1 – джерело випромінювання; 2 – виріб, що контролюється; 3 – приймач; 4 – електронний блок; 5 – відліковий пристрій

Рисунок 3.9 – Схеми радіоактивних перетворювачів

У першій схемі (рис. 3.9 а) від джерела випромінювання 1 потік радіоактивних променів, пройшовши через контрольовану деталь 2, потрапляє в приймач 3, який формує електричний сигнал в залежності від інтенсивності прийнятого випромінювання. Інтенсивність же пройдених через деталь променів буде залежати від її товщини і матеріалу.

Друга схема (рис. 3.9 б) дозволяє контролювати товщину виробу 2 за значенням розсіювання радіоактивного потоку, випромінюваного джерелом 1,

частково відбилася від поверхонь виробу, що перевіряється. Вимірюючи інтенсивність відбитого потоку, можна судити про товщину виробу.

В обох схемах електричні сигнали, що виникають в приймальному 3, посилюються і перетворюються в зручний для реєстрації і управління вигляд електронним блоком 4 і контролюються по відліковому пристрою 5.

Основними вузлами радіоактивного приладу є джерело випромінювання і приймальний пристрій.

Джерела випромінювання виготовляються зазвичай у вигляді металевих герметичних ампул, всередині яких вміщено невелику кількість речовини (сплави, метали, солі), що містить радіоактивний ізотоп. У машинобудуванні використовують в основному джерела β - і γ - випромінювань. β - випромінювання застосовують в пристроях автоматичного контролю для вимірювання товщини, щільності та ваги матеріалу методом поглинання радіоактивних променів. З використанням методу зворотного розсіювання можна визначати товщину покриттів або концентрацію окремих компонентів в матеріалі. На інтенсивність випромінювання не впливають зовнішні умови (тиск, температура, магнітне поле і т.п.).

Приймачі випромінювання, що застосовуються в радіоактивних приладах, використовують в своїх конструкціях принципи або іонізації в газах, або іонізації в твердих тілах. За першим принципом побудована реєстрація інтенсивності випромінювання за допомогою іонізації камер або лічильників, а за другим – люмінесцентні лічильники.

В даний час в приладах автоматичного контролю почали застосовувати сцинтиляційні лічильники, засновані на світінні деяких речовин (люмінофорів) під дією радіоактивного випромінювання. Вони мають вхідне вікно, покрите люмінесцируючим складом, з яким в оптичному контакті знаходиться фотоелектронний помножувач підсилювача. Ці лічильники мають високу ефективність, відносно компактні і мають високу роздільну здатність (до 10^{-6} с).

Однак ці прилади можна застосовувати лише після належного захисту персоналу від випромінювання. Зазвичай їх використовують, коли необхідно уникнути впливу на точність і надійність контролю зміни параметрів зовнішнього середовища: вологості, вібрацій, тиску, температури, електричних і

магнітних полів, запиленості, агресивності використовуваних матеріалів. Їх застосовують для контролю товщини в процесі прокату і отримання металів, гуми, паперу, скла, нанесення плівок і т.п. Однак точність цих приладів складає від 1 до 1,5% контрольованої товщини.

3.5 Контрольні автомати

Контрольні автомати становлять особливу групу автоматичних засобів післяопераційного контролю і являють собою пристрої, які здійснюють функції автоматичного прийому, орієнтування, базування, вимірювання, транспортування і бракування виробів. В результаті контролю ці пристрої виконують або розбракування, або сортування на селективні групи для подальшого складання. Останні дозволяють створювати точні вироби з деталей, виготовлених з великими допусками.

Контрольні автомати застосовуються в основному в багатосерійному і масовому типах виробництва. Їх конструкції обумовлені габаритами і конкретними параметрами вимірюваних деталей. Вони відрізняються великою різноманітністю компоновок і схем вимірювання. Основними вузлами автоматів є завантажувальні, транспортні, вимірювальні, запам'ятовувальні, виконавчі пристрої і приводи.

Вимірювальні пристрої є найвідповідальнішим вузлом автомата. Вони містять базувальні елементи і засоби вимірювання, які вибираються в залежності від ваги, габаритів, конфігурації вимірюваної деталі, від вимог до точності та обраної схемою вимірювання. В якості вимірювальних засобів в автоматах застосовуються граничні калібри, електроконтактні, пневматичні, індуктивні і фотоселективні перетворювачі. Вибір принципу перетворення визначається вимогами до точності вимірювання, допуском контрольованого розміру і продуктивністю автомата. Вимірювання може проводитися на рухомих деталях і в статиці. Перший варіант більш продуктивний, але менш точний.

На рис. 3.10 наведена принципова схема контрольно-сортувального автомата [5]. Його призначення – контролювати діаметральний розмір шариків і сортувати їх по дійсному розміру на групи. Автомат приводиться в дію електродвигуном 1. Шарики засипаються в бункер 10, звідки через обертову трубку 11 поодинці надходять в гнізда транспортного пристрою – диска 9 і подаються до вимірювального пристрою, що складається з твердосплавних доведеної майданчика 14 і підпружиненого штока 15 з твердосплавним наконечником. Шток знаходиться в контакті з вимірювальним наконечником індуктивного перетворювача 8 диференціального типу, величина сигналу якого визначається значенням діаметра вимірюваного шарика. Сигнал датчика після посилення подається на ряд реле, число яких дорівнює числу груп сортування.

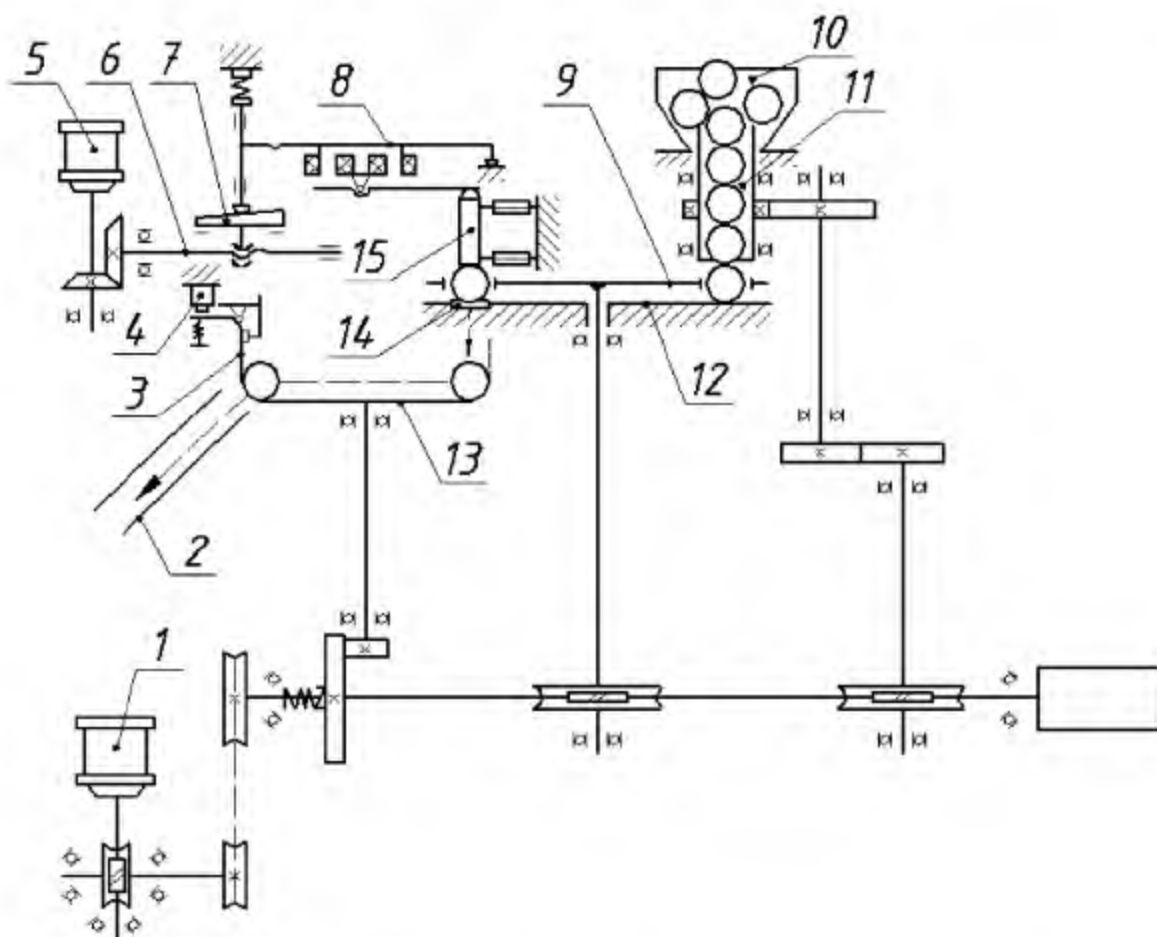


Рисунок 3.10 – Принципова схема контрольно-сортувального автомата

Кожне реле налаштоване на певну величину сигналу. Вимірювання проводиться за час проходження деталлю вимірювальної позиції. Залежно від величини сигналу індуктивного перетворювача, а отже, від розміру вимірюваної деталі, включається відповідне реле і замикається обмотка електромагніту 4, що піднімає заслінку 3. Вимірний шарик через отвір в плиті 12 потрапляє диск 13, який швидко обертається, і скидається в жолоб 2, заслінка якого піднята. Число електромагнітів з заслінками і жолобів дорівнює числу груп сортування.

Автомати такого типу сортують шарики діаметром від 2 до 30 мм на групи через інтервали від 0,25 до 1 мкм з похибкою від 0,1 до 0,5 мкм. Точність їх роботи підвищує контур самонастроювання. Через встановлений час, наприклад через кожну годину роботи, на вимірювальну позицію подається зразковий кульку певного, заздалегідь відомого розміру. При зміщенні настройки індуктивного перетворювача включається електродвигун 5, який обертанням гвинта 6 переміщує клин 7, змінюючи налаштування.

3.7 Координатно-вимірювальні машини

Останнім часом набули поширення універсальні вимірювальні засоби, так звані координатно-вимірювальні машини (КВМ). Ці пристрої використовуються для визначення лінійних і кутових розмірів деталей різної форми і габаритів. На КВМ вимірюють корпусні деталі, вали, важелі, втулки та інші вироби, поверхні яких утворені площинами, циліндрами, конусами, сферами, а також геометричними елементами перетину різних поверхонь. Визначаються не тільки лінійні розміри поверхонь, але і відстані між ними, відхилення їх розташування, похибки форми. Високоточна КВМ – потужний метрологічний засіб, що дозволяє оцінити як якість виробів, що випускаються, так і технологічну точність і стабільність застосовуваних процесів обробки.

Вимірювання виконуються за допомогою вимірювального наконечника, розташованого в рухомому вузлі машини. Деталь встановлюється на стіл поверхнею, що не підлягає вимірюванню і закріплюється. Кінематика машини

забезпечує відносне переміщення вимірювального наконечника і деталі за трьома взаємно перпендикулярним напрямом, і координати точок контрольованої деталі визначаються в прямокутній системі XYZ, причому напрямом координатних осей збігається з напрямком переміщень рухомих вузлів КВМ, несучих вимірювальну головку або деталь. У деяких машинах використовуються поворотні головки, що збільшує число координатних переміщень.

Координатно-вимірювальні машини працюють в двох режимах. Вони або переміщують вимірювальний наконечник до контакту з вимірюваною поверхнею і за допомогою лічильних пристроїв визначають його положення в системі координат, або вимірювальний наконечник за заданою програмою переміщається в точки, відповідні номінальним значенням вимірюваних розмірів, а лічильні пристрої дозволяють оцінити відхилення положення дійсних поверхонь від номінального значення. В основному КВМ працюють в першому режимі.

Основними вузлами машини є напрямні, по яких переміщаються вимірювальна каретка з наконечником. Для зменшення похибки вимірювання в машинах використовуються або направляючі кочення, або аеростатичні напрямні. Аеростатичні напрямні високоточних машин іноді виготовляють з твердих кам'яних порід, не схильних до температурних деформацій.

В якості відлікових пристроїв координатно-вимірювальні машини використовують спеціальні пристрої – індуктосини, що представляють собою в принципі електричну машину, у якій статор розгорнутий у вигляді лінійки з нанесеними друкарським способом обмотками на її поверхні. В якості відлікових пристроїв можуть застосовуватися і фотоселектричні перетворювачі, виконані у вигляді зчитувальних пристроїв.

Сучасні КВМ оснащені ЕОМ, яка здійснює обробку результатів вимірювання, перерахунок значень розмірів в залежності від положення довільно розташованої на столі машини вимірюваної деталі, роздруківку результатів вимірювання із зазначенням дійсних значень розмірів або їх відхилень від заданих значень та їх цифрову індикацію на спеціальному табло, а також керує переміщеннями каретки з вимірювальним наконечником,

забезпечуючи послідовний автоматичний дотик вимірювальним наконечником всіх поверхонь, що підлягають контролю. Раніше ця операція здійснювалася відповідно до попередньо складеної програмою, введеної в ЕОМ. Істотним недоліком методу була витрата часу на написання програми, її запис на програмоносій і налагодження. Все це вимагало залучення до процесів вимірювання фахівців-програмістів. Програми складалися для кожного типорозміру деталей. Сучасні конструкції машин дозволяють оператору без програми швидко навчити машину вимірам конкретної деталі з усіма додатковими параметрами. Для цього треба вручну (навчальний режим) перемістити каретку з вимірювальним наконечником, торкаючись в точках поверхонь, які необхідно проконтролювати. Машина «запам'ятовує» ці рухи і записує їх у вигляді керуючої програми, яку потім використовують для вимірювання цих деталей.

При необхідності програма записується в пам'яті ЕОМ і може бути використана через будь-який проміжок часу.

Різноманітні конструкції КВМ розрізняються по точності вимірювань, розмірами деталей, які перевіряються, ступеню автоматизації. Спочатку вони створювалися на основі точних приладів або координатно-розточувальних верстатів і лише пізніше отримали оригінальне конструктивне оформлення.

Крім вимірювань, координатно-вимірювальні машини знаходять широке застосування при розмітці корпусних деталей, яке вони здійснюють за попередньо складеною програмою.

3.8 Цифрові прилади

Цифрові прилади на відміну від шкальних дозволяють значно підвищити точність і продуктивність контрольних операцій і виключити з процесів вимірювання похибку оператора.

Серед існуючих методів і систем автоматичного вимірювання переміщень найбільшою точністю характеризуються фотоелектричні і індукційні пристрої.

Перші працюють за принципом використання двох періодичних шкал (рухомої і нерухомої) для отримання усередненої інформації про їх взаємне положення. Висока роздільна здатність оптичних вимірювальних пристроїв і усереднювальна дія двох спільно працюючих періодичних шкал добре поєднуються в муаровому явищі і дозволяють здійснювати лінійні вимірювання з точністю до 0,1 мкм, а кутові – до 0,2°.

Растрові муарові датчики з цифровим і аналоговим виходами все ширше застосовуються в системах програмного керування металорізальних верстатів, в високоточних вимірювальних системах та ін.

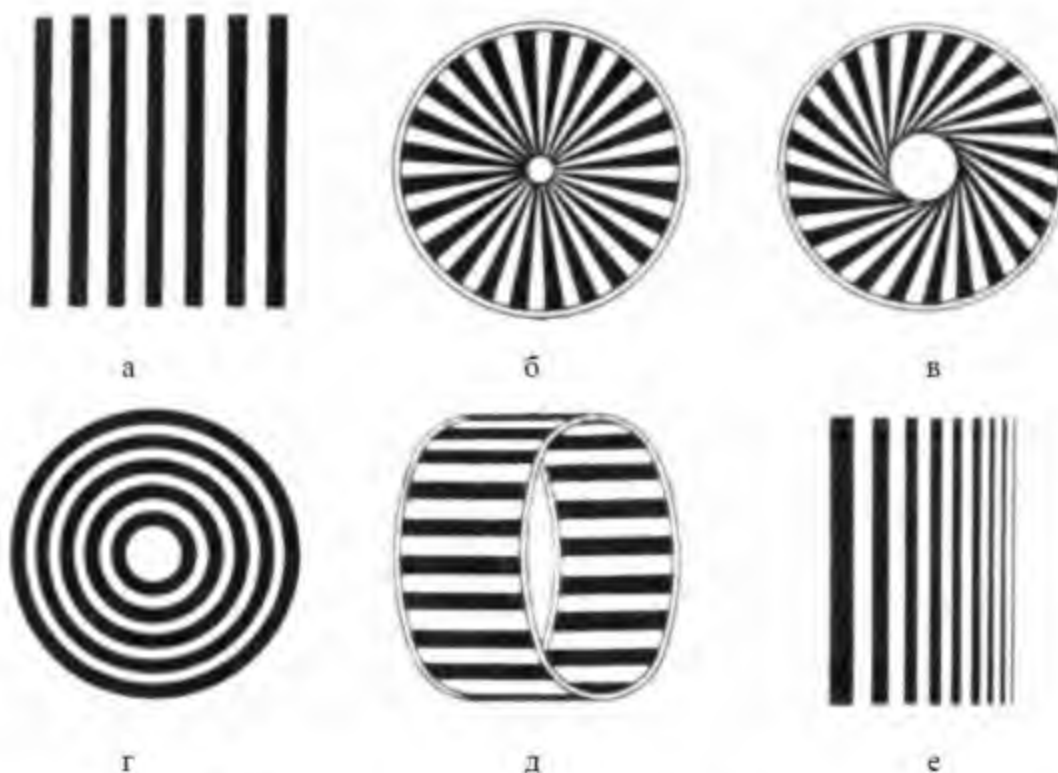
Залежно від характеру впливу на світловий потік розрізняють прозорі і відбивні растри. Прозорі растри представляють собою систему прозорих і непрозорих елементів. Відбивні растри виконуються у вигляді решіток з елементами, що дзеркально відбивають світло.

Геометрична структура елементів, що утворюють растр, може бути різною. На рис. 3.11 показані деякі типи растрів, що застосовуються в муарових растрових датчиках положення: паралельний растр (рис. 3.11 а) з непрозорими штрихами. У центральному радіальному растрі (рис. 2.11 б) непрозорі елементи розходяться у вигляді променів з одного центру. Елементи нецентрального радіального растра (рис. 2.11 в) є дотичними до деякої окружності малого радіусу. Якщо ж елементи растра виконані у вигляді концентричних кілець, то такий растр називається кільцевим (рис. 2.11 г). Растри можуть бути не тільки плоскими. Якщо елементи растра нанесені на поверхню циліндра, то виходить циліндричний растр (рис. 2.11 д). В принципі растр можна нанести на будь-яку поверхню.

Елементи растра зазвичай наносяться з постійним лінійним або кутовим кроком. В цьому випадку растри є регулярними. Однак існують растри з лінійно мінливим кроком (рис. 3.11 е) і навіть з хаотичним розташуванням окремих елементів.

Основними оптичними характеристиками вимірювальних растрів є крок і світлосила. Зазвичай в муарових датчиках застосовуються растри, у яких ширина прозорого штриха дорівнює ширині непрозорого, тобто растри зі світлосилою, рівною 1/2.

Для вимірювання лінійних розмірів застосовуються плоскі паралельні растри, які іноді називають паралельними растровими решітками. У муарових растрових датчиках, що працюють за принципом підрахунку муарових комбінаційних смуг, для отримання достатньої роздільної здатності в якості паралельних растрів використовуються дифракційні решітки з кроком від 1 до 10 мкм. Для вимірювання кутових переміщень застосовуються плоскі радіально-центральної і радіально-нецентральної растрові решітки.



а) паралельний; б) центральний радіальний; в) нецентральної радіальний; г) кільцевий; д) циліндричний; е) растр з лінійно мінливих кроком

Рисунок 3.11 – Растри

Плоскі кільцеві растри дозволяють вимірювати радіальні биття деталей, що обертаються. Створено растрові системи, що здійснюють трикоординатне управління обробкою точних і складних деталей на верстатах з ЧПК.

3.9 Висновки

Розглянувши різноманітні способи автоматизації контрольних вимірювань і врахувавши складну геометрію деталі «стінка задня дифузора» було вирішено застосувати КВМ для контролю геометрії лопаток. Одним з відомих виробників є фірма Wenzel. Так їх КВМ Wenzel XOrbit 55 [302 – 6] призначена для вимірювання лінійних і кутових розмірів, відхилень форми і розташування поверхонь деталей різної геометричної форми, які використовуються в різних галузях машинобудування. Робота машини заснована на координатних вимірах, тобто по черговому вимірі координат деякого числа точок на поверхні деталі і подальшої їх математичної обробки для визначення похибок нормованих геометричних параметрів. Основні технічні характеристики машини наведені в табл. 3.1

Таблиця 3.1 Технічні характеристики координатно-вимірювальної машини Wenzel XOrbit 55

Найменування показника	Значення		
	Ось X	Ось Y	Ось Z
Межі вимірювань по осях, мм	500	700	500
Розміри робочої поверхні стола, мм	800 · 1500		
Маса машини, кг	1250		
Допустима маса деталі, кг	300		
Об'ємна похибка вимірювання, мкм	2,3 – L/300 мм		
Діапазон робочих температур, °C	15 – 30		
Діапазон температур, при якому забезпечується заявлена похибка вимірювання, °C	18 - 22, при швидкості зміни не більше 1° C/год		
Відносна вологість, %			
Максимальна швидкість переміщення робочих органів, мм/с	Джойстик		ЧПУ
	100		300

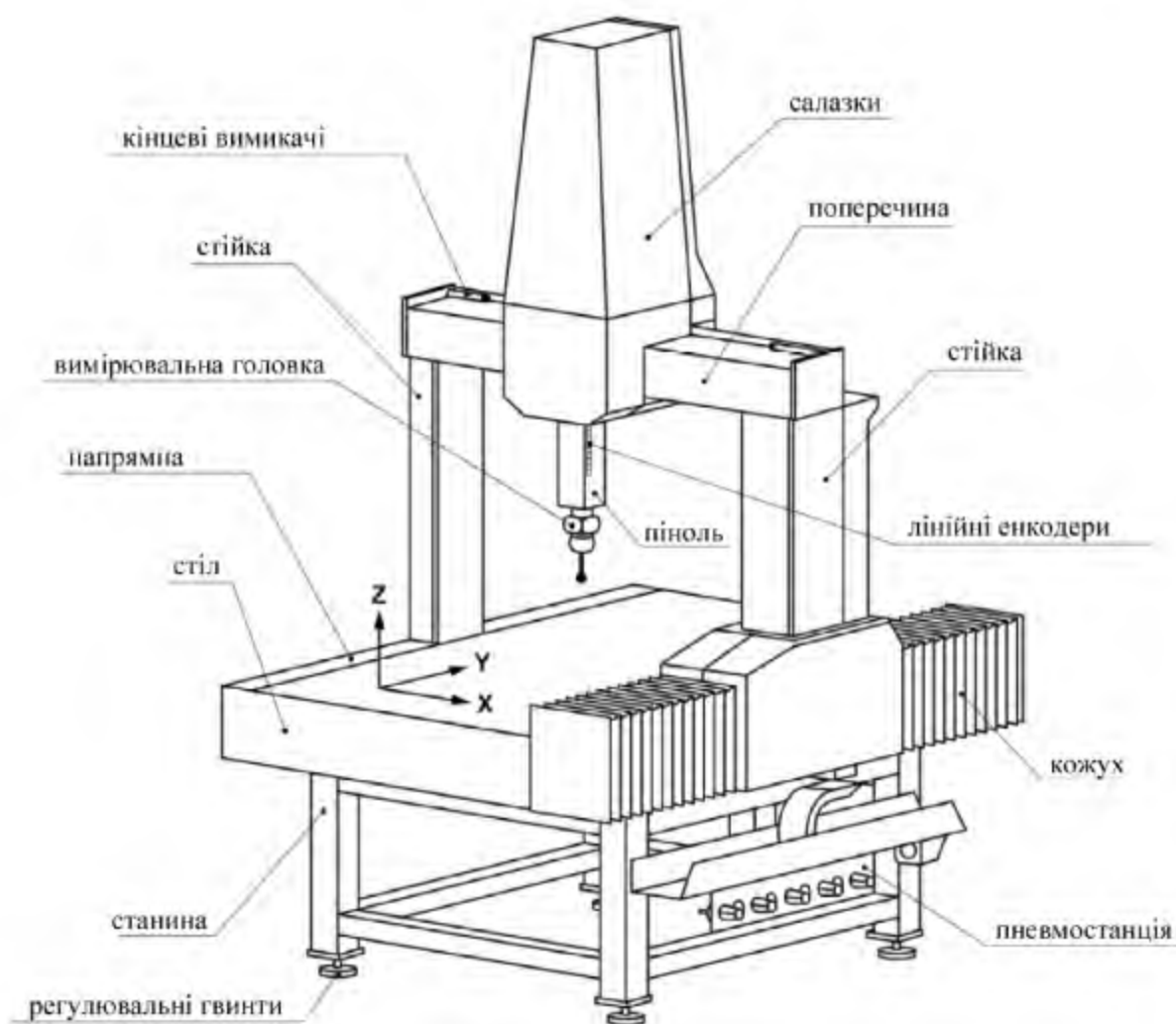


Рисунок 3.12 – Конструкція координатно-вимірювальної машини Wenzel XOrbit 55

4 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

Розрахунок напружено-деформованого стану деталі вилка проведемо в пакеті Siemens NX за допомоги метода скінчених елементів. Даний аналіз проводиться в декілька етапів. Спочатку в препроцесорі будується на основі геометрії деталі сітка скінчених елементів. В нашому випадку це тривимірні елементи тетраедральної форми. Далі задаються механічні параметри матеріалу і модель розбивається на скінчені елементи.

закріплюємо деталь «втулка» за фланець (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Сітка елементів і закріплення деталі

Прикладаємо навантаження у вигляді розподіленого тиску, оскільки деталь є частиною компресора і на неї з внутрішньої сторони тисне стиснуте робочим колесом компресора повітря (рис. 4.2).

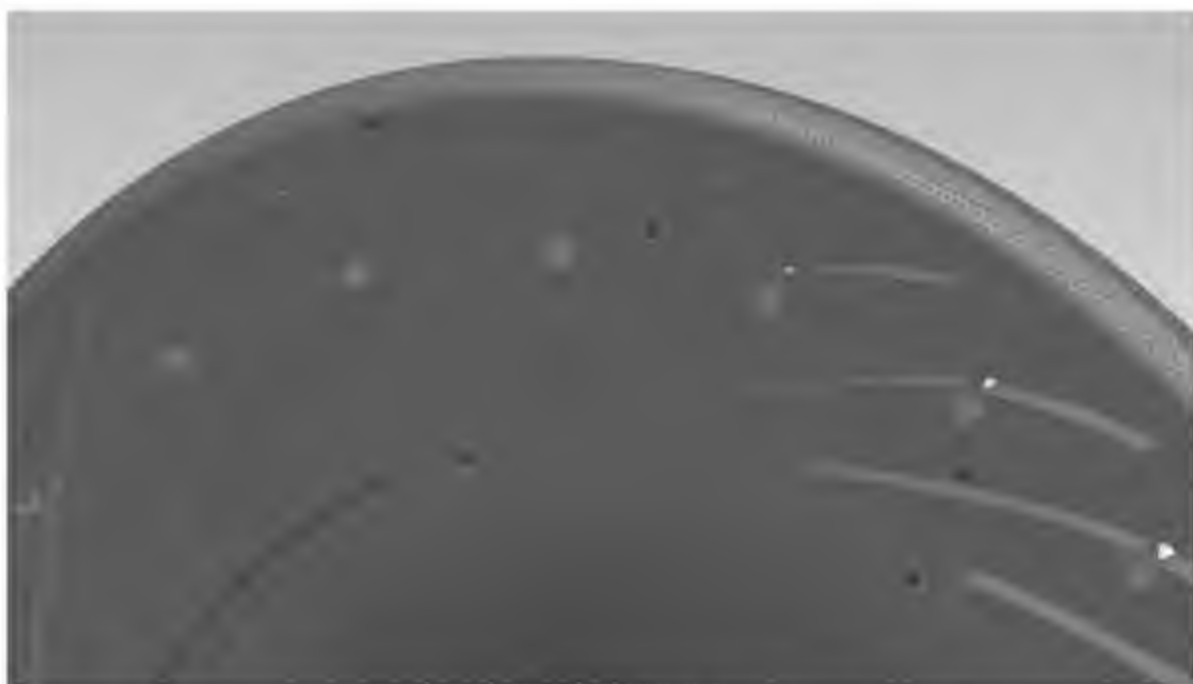


Рисунок 4.2 – Прикладення навантаження до моделі деталі

Проводимо розрахунок навантажень. Результати у вигляді діаграми еквівалентних навантажень за Мізесом показані на рис. 4.3.

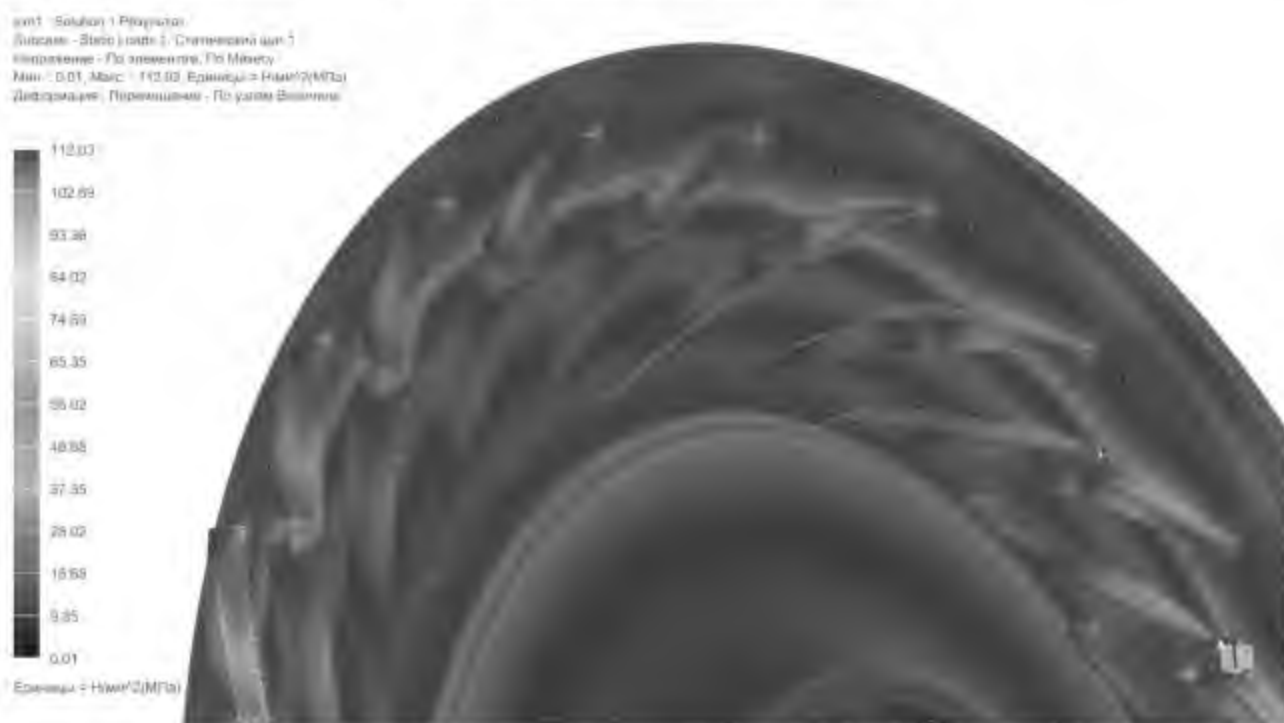


Рисунок 4.3 – Напруження за Мізесом

5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. ВИСОКОШВИДКІСНЕ ТА НАДШВИДКІСНЕ РІЗАННЯ

Високошвидкісне різання (англ. HSC – High Speed Cutting) – сучасна технологія лезової обробки матеріалів, при якій швидкості різання і подачі в 5-10 раз вище, ніж при звичайній обробці.

В даний час в технічній літературі прийнято наступний розподіл обробки на види залежно від швидкості різання [12]:

- звичайна обробка – при $V < 500$ м/хв;
- високошвидкісна обробка – при $500 < V < 10\,000$ м/хв;
- надшвидкісна обробка – при $V > 10\,000$ м/хв.

Такий поділ є досить умовним і більш правильно відносити до високошвидкісної обробки процеси різання, режимами яких на порядок вище традиційно застосовуваних.

Теоретичним обґрунтуванням HSC є висунуте академіком В. Д. Кузнецовим [13] положення фізики твердого тіла про зниження енергії пластичної деформації при надвисоких швидкостях різання, наближених межі текучості оброблюваного матеріалу до межі міцності і квазікрихкого руйнуванні оброблюваного матеріалу в зоні різання. В результаті цього зменшується тепловиділення в зоні різання і температура контакту різця з деталлю зменшується.

На рис. 5.1 наведена експериментальна залежність температури від швидкості різання, яку запропонував у 30-х роках минулого століття С. Salomon.

Деякому граничному значенню температури $\theta_{кр}$, вище якої робота інструменту неможлива внаслідок його катастрофічного зносу, відповідають дві швидкості різання $V_{кр1}$ та $V_{кр2}$. Діапазон швидкостей різання, що перевищують $V_{кр2}$, є зоною високошвидкісного і надшвидкісного різання.

Гранична швидкість $V_{кр1}$, вище якої температура починає знижуватися, залежить від ряду факторів, але, перш за все, від міцності і теплофізичних

властивостей оброблюваного матеріалу. Це дозволяє запропонувати класифікацію звичайного і високошвидкісного різання, що враховує рівень оброблюваності різних матеріалів (рис. 5.2).

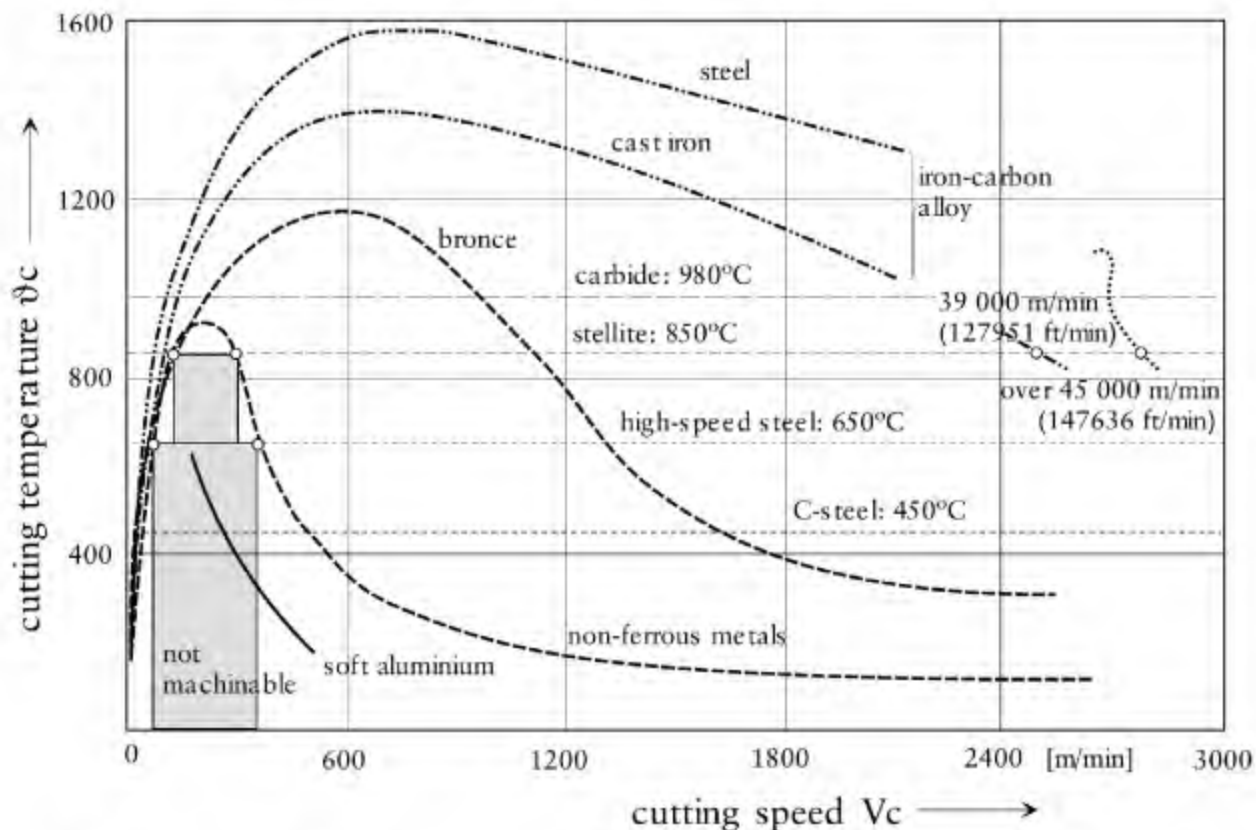


Рисунок 5.1 – Вплив швидкості різання на температуру по C. Salomon [14]

Представлена класифікація більш універсальна, оскільки розроблена з урахуванням оброблюваності різних матеріалів. Наприклад, розточування отворів і фрезерування силуміну проводять зі швидкостями 7000 і 8000 м/хв, розгортання – 1000 м/хв. Для такого матеріалу як сталь вони становлять від 500 до 1500 м/хв і навіть вище. Відповідно до такої класифікації обробка нікелевих сплавів зі швидкостями понад 50 м/хв вже є надшвидкісною, оскільки ці швидкості на порядок перевищують традиційні.

Надшвидкісне різання має цілий ряд переваг в порівнянні з різанням на традиційних швидкостях (табл. 5.1).

У зв'язку з надзвичайно високими швидкостями протікання фізичних процесів в зоні різання їх закономірності в умовах HSC в значній мірі відрізняються від традиційних. Розглянемо деякі з них.

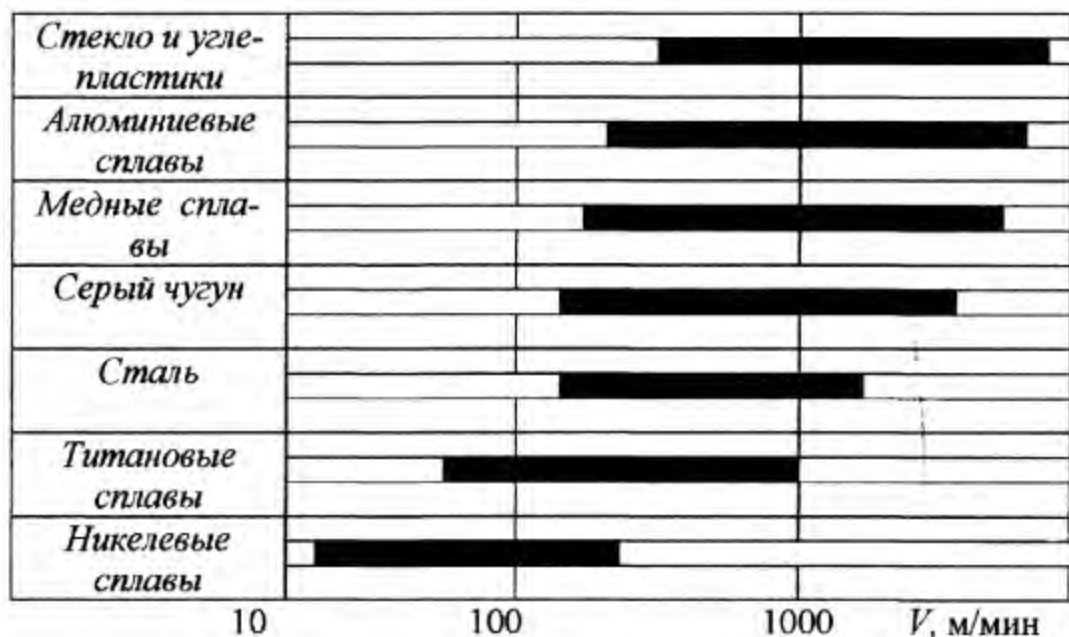


Рисунок 5.2 – Рівні швидкостей різання при обробці різних матеріалів: світлий фон – зона традиційних швидкостей; коса штрихування – перехідна область; сітчасте штрихування – зона HSC [15]

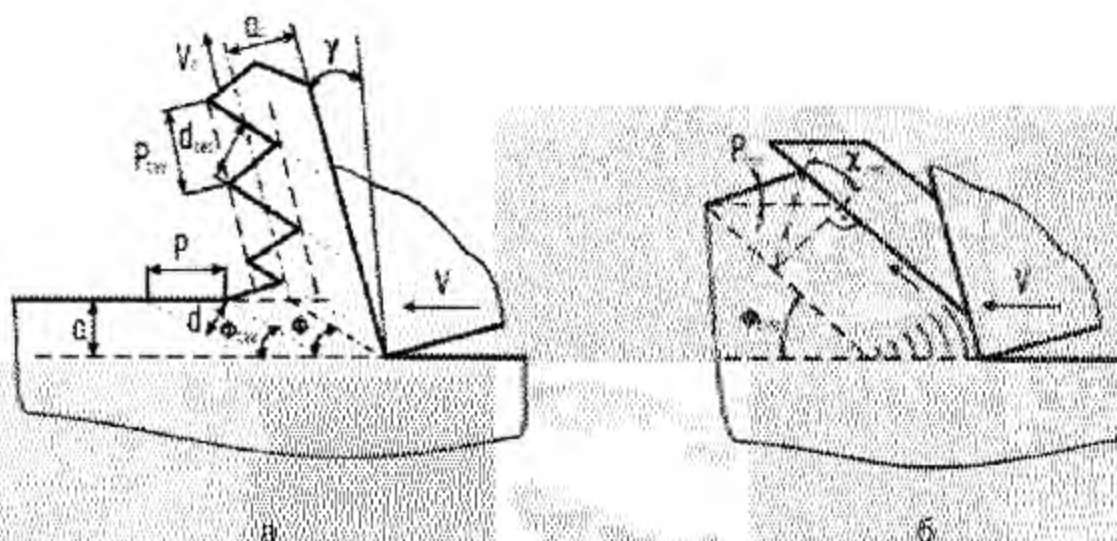
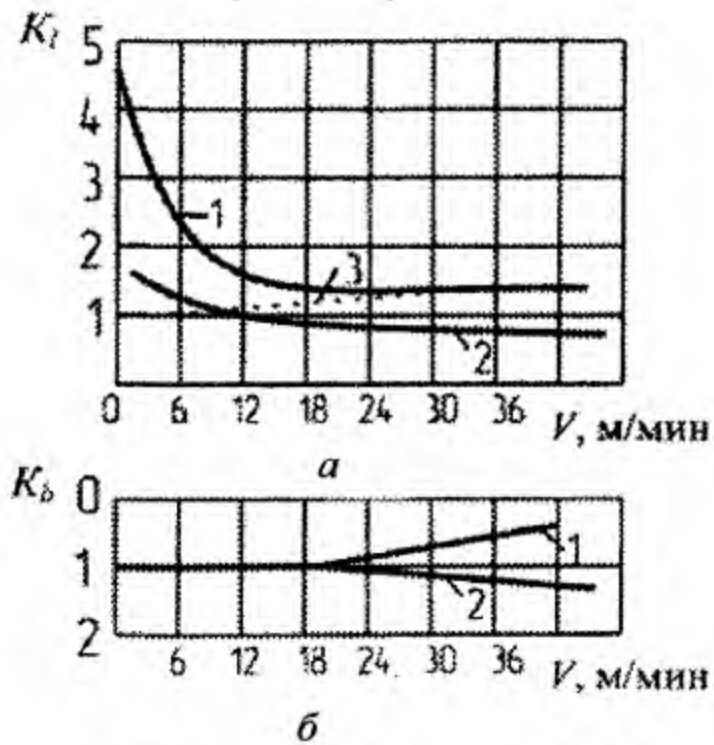


Рисунок 5.4 – Схема утворення стружки (а) і розміри її сегментів (б) при надшвидкісному різанні [20]

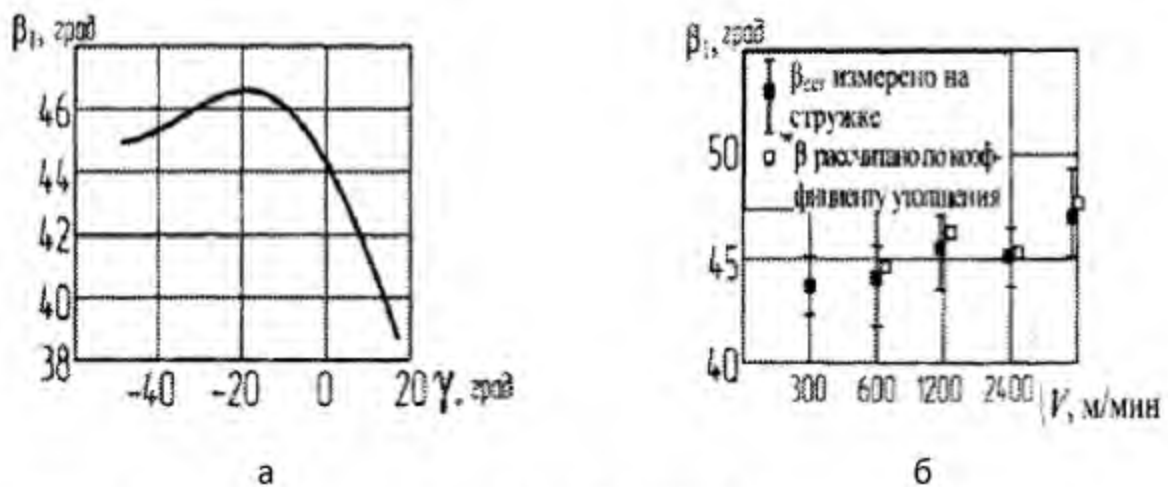
Коефіцієнт укорочення стружки при високих швидкостях для широкого кола оброблюваних матеріалів значно менше, ніж при звичайному різанні. У ряді випадків він може бути менше одиниці при одночасному зменшенні ширини стружки (рис. 5.5).

Реальний кут зсуву в традиційних умовах різання значно менше кута, що забезпечує мінімальний відносний зсув (для зливного стружко утворювання – $45^\circ + \gamma/2$). В умовах надшвидкісного різання для різних оброблюваних матеріалів кут зсуву досягне цієї теоретичної величини (рис. 5.6, а), а іноді навіть перевищує її (рис. 5.6, б). Такий характер стружкоутворювання обумовлений особливостями тертя на передній поверхні, динамічними змінами фізико-механічних властивостей оброблюваного металу і умовами протікання мікродеформацій.



1 – алюміній, $\gamma = -15^\circ$; 2 – алюміній, $\gamma = -45^\circ$; 3 – сталь 50, $\gamma = 0^\circ$

Рисунок 5.5 – Залежність коефіцієнтів укорочення K_l (а) та уширення K_b (б) стружки від швидкості різання [16]



а – загартована хромиста сталь 100Cr6 HRC 63;

б – титановий сплав Ti6Al14V

Рисунок 5.6 – Змінення куту зсуву при надшвидкісному різанні [20]

5.2 Сили і потужність різання

Дуже важливу роль у фізичних процесах в зоні різання при надшвидкісній обробці грають сили інерції. В умовах звичайного різання вони абсолютно незначні, при надшвидкісній складають до 30-50% від P_z . Для розрахунків сили інерції можна скористатися формулою [21]:

$$P_i = \frac{\rho V^2 ab \cos \gamma}{\cos(\beta_1 - \gamma)} = \frac{\rho V^2 st \cos \gamma}{\cos(\beta_1 - \gamma)}, \quad (5.1)$$

де ρ – щільність оброблюваного матеріала;

V – швидкість різання;

a, b – відповідно товщина і ширина среза;

γ – передній кут;

β_1 – кут зсуву;

s – подача;

t – глибина різання.

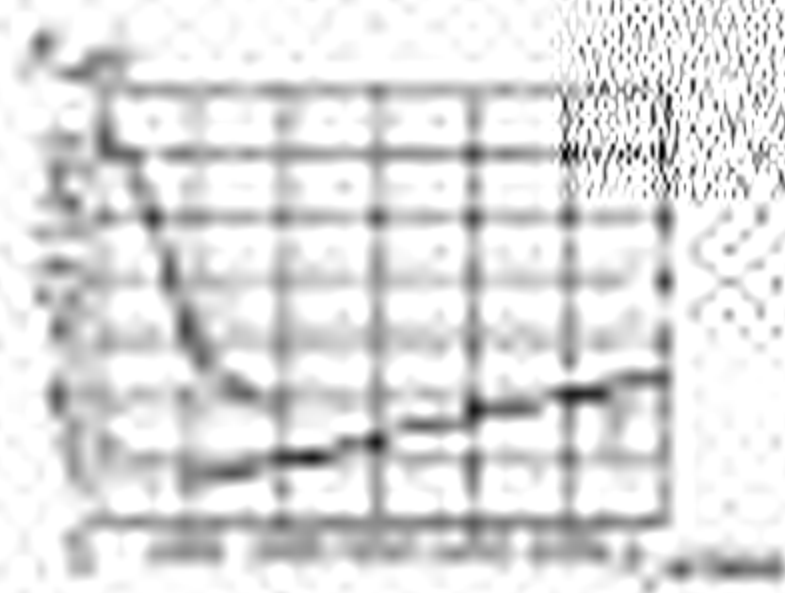
Для випадку точіння стали твердосплавним різцем можна отримати значення сил, що наведені в табл. 5.2 [16].

Розрахунки показують, що витрати енергії на подолання сил інерції становлять близько 10% від загальної енергії при швидкостях 10000 м/хв і практично рівні цій потужності при 30000 м/хв [15].

Наведені на рис. 14.7 залежності $P_z = f(V)$ підтверджують думку про те, що для більш міцних матеріалів мінімум сили різання буде зміщуватися в зону більш високих швидкостей, оскільки в цьому випадку вище рівень сил різання і інерційна складова починає позначатися при більш високих швидкостях.

Зниження питомих сил призводить до зниження потужності різання, хоча в цілому вона досить значна (рис. 5.8). За даними фірми «Локхід» (США), при обробці сталі 45 ($t = 5$ мм, $s = 5$ мм/об, $V = 5$ м/хв), потужність різання дорівнює 6,47 кВт, а при 10000 м/хв – 161 кВт [18].

Year	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Population	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
GDP	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Unemployment	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
Inflation	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Interest Rate	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
Trade Balance	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Debt	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Household Income	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Healthcare Spending	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Education Spending	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Environment Spending	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Defense Spending	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Transportation Spending	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Energy Spending	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Space Spending	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Other Spending	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150



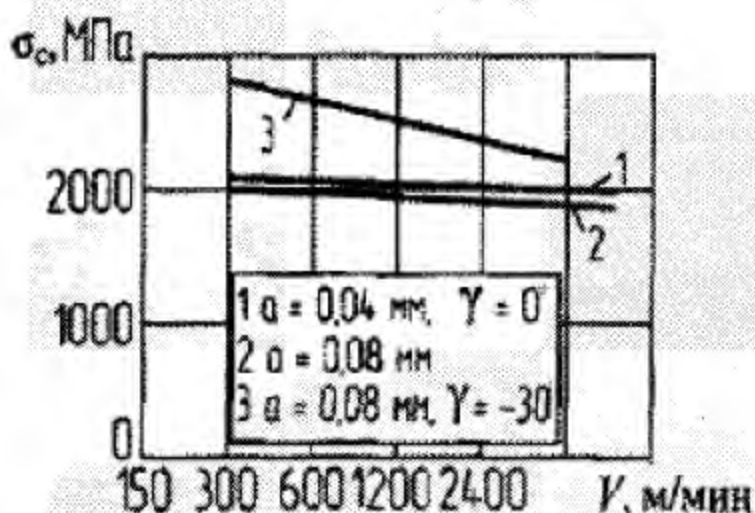


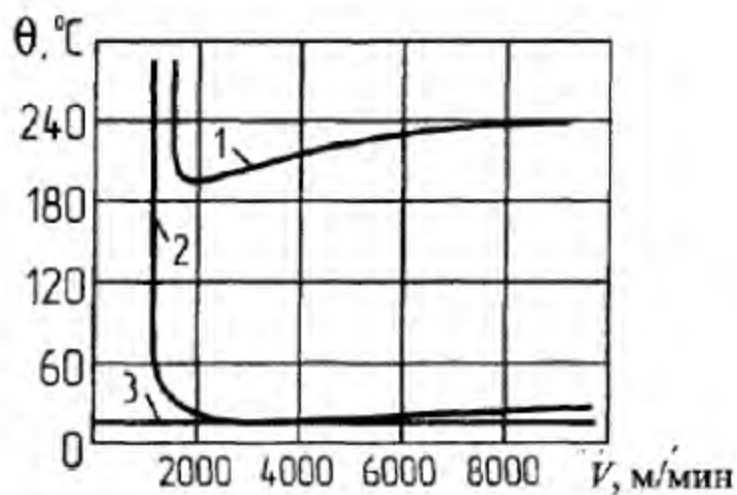
Рисунок 5.7 – Питомі сили різання при надшвидкісному точінні титанового сплаву Ti6Al14V [116]

Витрати енергії на різання визначаються рівнем питомих сил різання. Ці сили в міру зростання швидкості різання знижуються, хоча в цілому їх рівень вище в порівнянні з традиційним різанням. Мінімальні значення сил спостерігаються при максимальних швидкостях різання, що також підтверджує ефект окрихчування оброблюваного матеріалу.

5.3 Температура різання

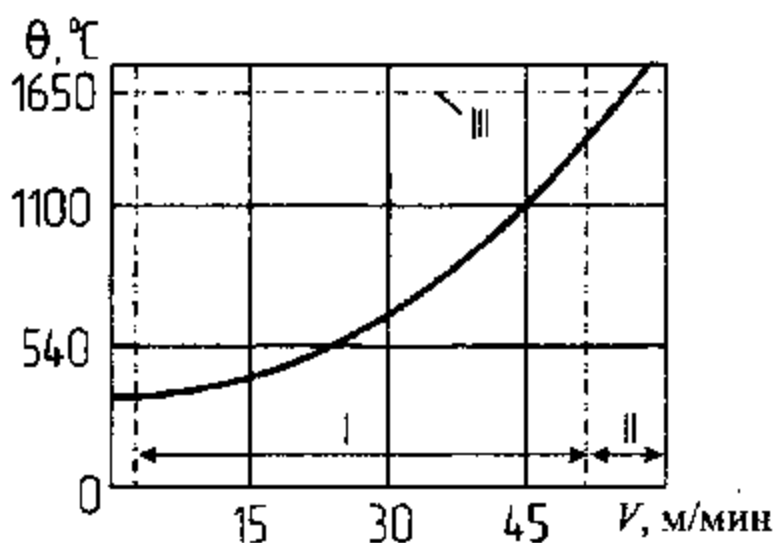
Як зазначалося, при надшвидкісному різанні, починаючи з критичного значення, відбувається зниження температури (рис. 5.1). Це пояснюється тим, що, починаючи з критичних значень швидкості різання, відділення зрізаного шару відбувається в результаті не пластичного, а крихкого руйнування. Спостерігається локалізація пластичних деформацій в малих обсягах і інтенсивний розігрів контактних шарів, що призводить до зниження сил тертя. На рис. 5.9 показано, що при швидкості різання 4700 м/хв, глибині 3 мм і подачах менш 1500 мм/хв температура стружки при фрезеруванні досягає температури плавлення металу. Ця стружка має такий запас енергії, що відразу

ж після утворення приварюється до поверхні деталі або сплавляється з нею. Якщо подача перевищує 2500-3000 мм/хв, температура заготовки приймається на 6°C вище кімнатної і теплота, що виникає в процесі різання, відводиться разом зі стружкою, температура якої не перевищує 240 °С. Однак умови тепловідведення можуть змінюватися, і тоді температура стружки залишається надзвичайно високою (рис. 14.10) [16].



- 1 – температура стружки при фрезеруванні;
- 2 – температура заготовки;
- 3 – кімнатна температура

Рисунок 5.9 – Вплив швидкості різання на температуру



- I – зона оплавлення поверхні шарів стружки;
- II – зона повного оплавлення стружки;
- III – температура плавлення сталі

Рисунок 5.10 – Зміни температури стружки при надшвидкісній різанні хромомолібденової сталі AISI 4340 [19]

Температура ріжучої частини інструменту зростає зі збільшенням швидкості різання, хоча і в значно меншій мірі [15]. У ряді випадків також є високою температура на поверхні деталі. Так, при надшвидкісному точінні загартованих сталей зафіксовано появу «білого шару» в поверхневих шарах деталі, який свідчить не тільки про надзвичайно високі деформації, а також о можливих фазових перетвореннях.

Значний інтерес представляє вплив високих і надвисоких швидкостей різання на процеси деформації і теплоутворення в зоні обробки. Прийнято вважати [22], що при цьому внаслідок великої інтенсивності тепловиділення приконтakтні шари заготовки та інструменту нагріваються практично миттєво, час контакту є вельми малим (10^{-6} – 10^{-8} с) і процес надшвидкісного різання є адіабатичним.

Швидкість деформації визначається залежністю:

$$\varepsilon' = \frac{V}{0,215ak_a^2} \left[9,3 \frac{\theta(\theta_{пл} - \theta)}{\theta_{пл}^2} - \frac{4,65}{Pe \cos \gamma} \ln \left(\frac{4,65\theta}{\theta_{пл}} \right) \right], \quad (5.2)$$

де θ – температура різання;

$\theta_{пл}$ – температура плавлення оброблюваного матеріалу;

k_a – коефіцієнт потовщення стружки;

Pe – критерій Пекле.

Оскільки рівняння (5.2) враховує умови локалізації теплоти в приконтактних шарах стружки і тепловідведення із зони пластичного контакту, за даними роботи [22] розраховані значення ε' при надшвидкісному різанні деформованих алюмінієвих сплавів (рис. 5.11) в порівнянні з температурою різання, яка вимірюється методом природної термопари. Видно, що температура зі збільшенням швидкості різання збільшується, асимптотично наближаючись до температури плавлення оброблюваного матеріалу (923 K).

Швидкість деформації максимальна при $V = 45 - 50$ м/с, при цьому відбувається помітне зниження зростання температури різання [22]. При подальшому збільшенні швидкості різання ε' знижується до нуля при $V = 100$ м/с, що відповідає умові стабілізації температури. При $V > 100$ м/с швидкість деформації набуває від'ємних значень, що відповідно до прийнятих для отримання залежності (5.2) умовами подібності температурного поля і поля швидкостей течії в приконтактних шарах стружки відповідає зміні напрямку теплового потоку і його концентрації в тонких шарах ріжучого інструменту і збільшення тепловідведення через задню поверхню ріжучого клина в деталь. Таким чином, умовною межею високошвидкісного різання, при якому настає різке зниження інтенсивності наростання температури різання, можна вважати швидкість різання, відповідну максимуму швидкості деформації приконтактних шарів стружки, а надшвидкісне різання як адіабатичний процес здійснюється при швидкостях (температурах) різання, що забезпечують $\varepsilon' < 0$.

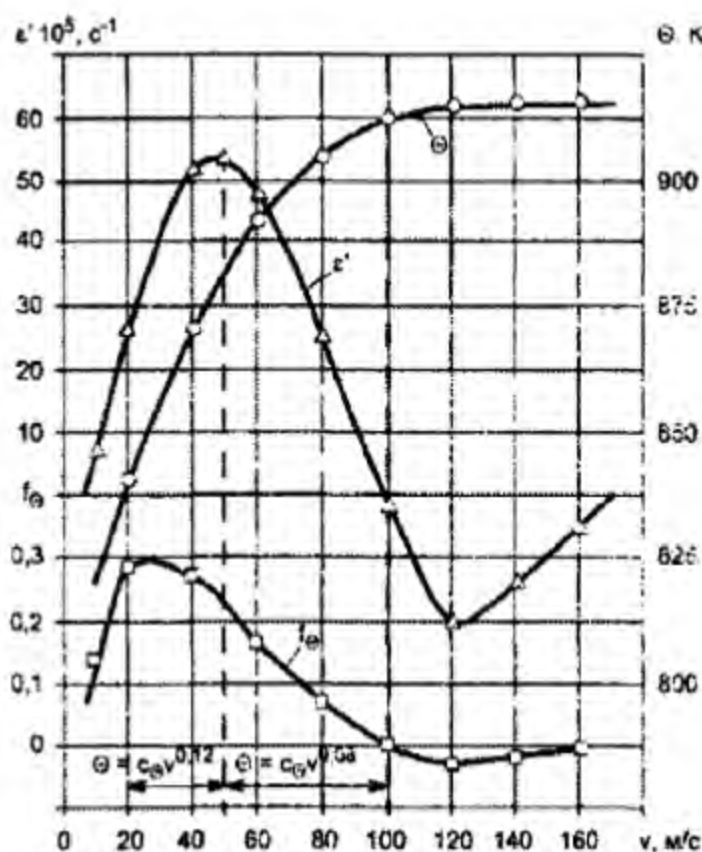


Рисунок 5.11 – Залежності температури різання і швидкості деформації при надшвидкісний різанні деформованого алюмінієвого сплаву (128НВ) від швидкості різання (різець ВК8, $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 10$, $t = 2$ мм, $s = 0,08$ мм/об) [23]

Результати розрахунків, виконаних для обробки жароміцного сплаву ХН73МБТЮ, коефіцієнт температуропровідності якого більш ніж в 20 разів менше, ніж алюмінієвого сплаву, наведені на рис. 14.12. Видно, що максимум швидкості деформації буде забезпечуватися при температурі $\theta = 0,85 \cdot \theta_{\text{пл}} = 1383$ K, кордоном високошвидкісного різання будуть швидкості порядку 4,5-5,0 м/с, а надшвидкісне різання буде здійснюватися при швидкості більше 10 м/с та температурі, близької до температури плавлення жароміцних нікелевих сплавів (порядку 1620-1630 K).

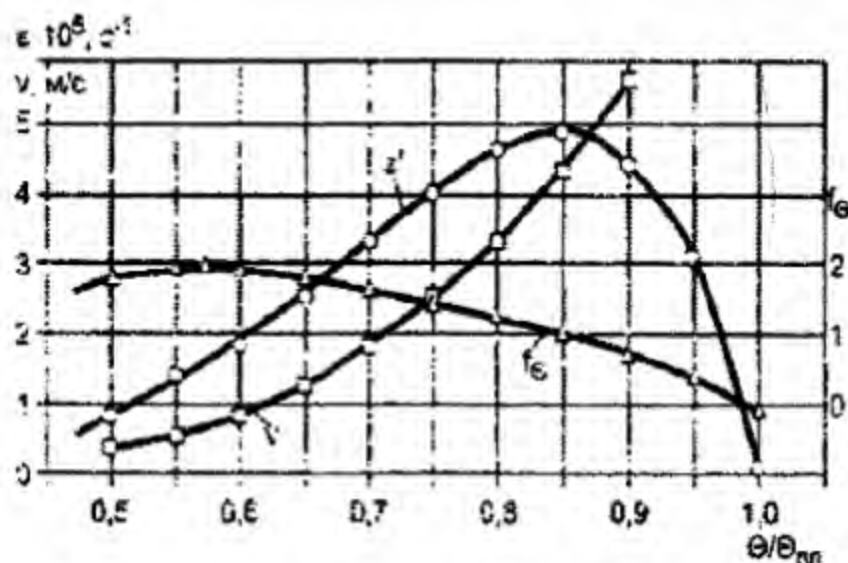


Рисунок 5.12 – Вплив відносної температури на швидкість деформації приконттактних шарів стружки при точінні сплаву ХН73МБТЮ різцем ВК8 ($t = 0,5$ мм, $s = 0,4$ мм/об)

З точки зору термодинамічних уявлень про процес деформації і руйнування оброблюваного матеріалу поглинену енергію деформації можна розглядати на дві складові [24]. Перша, досить невелика частка цієї енергії витрачається на накопичення в деформованих обсягах прихованої енергії при розривах і зародженнях і накопичення в деформованих обсягах різного роду дефектів і пошкоджень. Прихована (накопичена) енергія впливає в основному на зміцнення і знеміцнення матеріалу і є, таким чином, кількісною характеристикою його пошкоджуваності в процесі деформації.

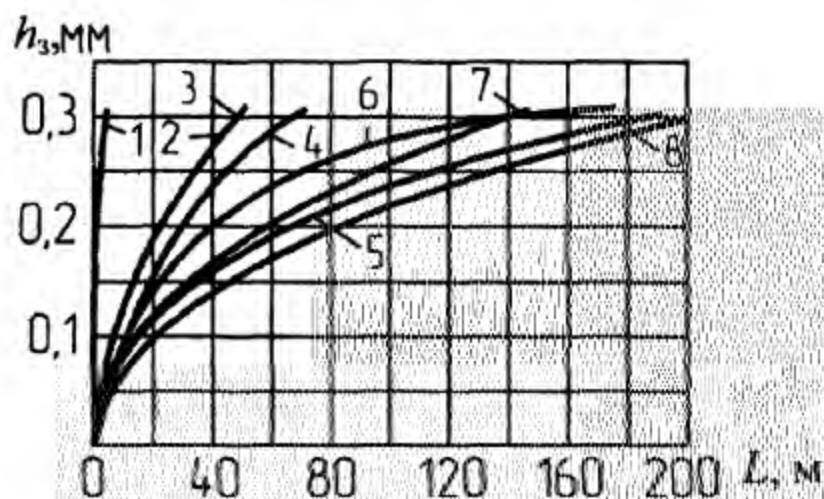
Друга основна частина енергії пластичної деформації (до 98% і більше) за рахунок коливального руху дефектів і процесу повернення зникає в вигляді (і мікротріщин) невідворотно трансформується в теплову енергію, яка накопичується в деформованих обсягах матеріалу у вигляді тепловмісту, підвищуючи температуру контакту, і розсіюється в навколишньому середовищі за рахунок тепловиділення і теплообміну.

Стандартні тверді сплави зберігають свої ріжучі властивості до температури 1200-1300 К, що дозволяє обробляти алюмінієві сплави на швидкостях порядку 200 м/с і більше, але не можуть бути застосовані для

високошвидкісної обробки жароміцних нікелевих і титанових сплавів. Для цього випадку необхідні дослідження з використання нових сучасних інструментальних матеріалів, таких як мінералокераміка, кібарит та інших надтвердих матеріалів, що мають високу температуру красностійкості і малу хімічну спорідненість з оброблюваними матеріалами. Одним з перспективних напрямків в області високо- і надшвидкісного різання є використання ефективних технологічних мастил і методів охолодження, які можуть знизити межу високошвидкісного різання до рівня раціональних або граничних температур експлуатації інструментальних матеріалів.

5.4 Зношування і стійкість інструменту

Специфіка механізму зношування інструменту пов'язана з високими температурами на площадках контакту і малим часом контактування. Відсутність наросту, застійної зони і змінення металу в зоні пластичного контакту підвищує інтенсивність адгезійних і дифузійних процесів; виникає значний знос контактних майданчиків поблизу ріжучої кромки. Динаміка і інтенсивність зношування при звичайних і надвисоких (великих в 300 разів) швидкостях при інших рівних умовах може бути приблизно однаковою або трохи більше високої в останньому випадку (рис. 5.13, 5.14). Залежності $T = f(V, s)$ можуть мати перегин, положення якого визначається властивостями оброблюваного матеріалу і умов обробки.

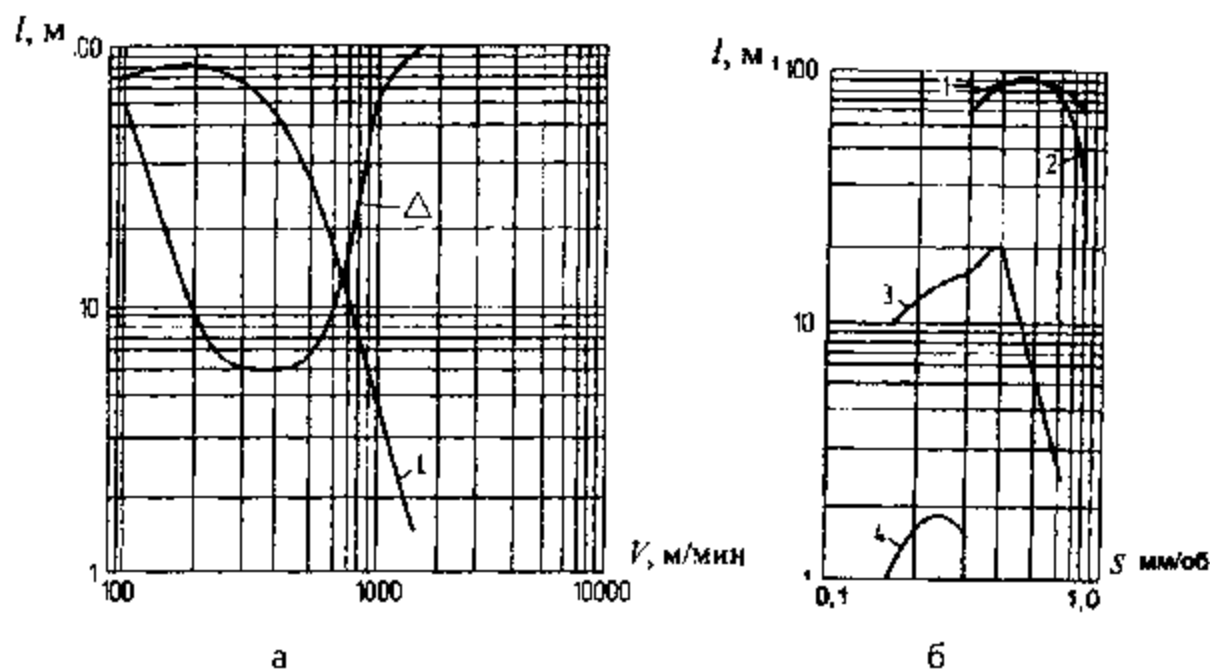


1 – швидкорізуща сталь; 2 – пластина з твердого сплаву P30/40; 3 – пластина з твердого сплаву P35; 4 – пластина з твердого сплаву P40; 5 – пластина з твердого сплаву K30/40; 6 – пластина з твердого сплаву K10-F; 7 – пластина з твердого сплаву K10 з покриттям; 8 – пластина з твердого сплаву K10 [15]

Рисунок 5.13 – Криві зносу при фрезеруванні силуміну G – AlSi12 (Cu) одноступовою кінцевою фрезою ($V = 2500$ м/хв, $s_{хв} = 9$ м/хв, $t = 3$ мм; $B = 3$ мм)

Низька теплопровідність і висока жароміцність нікелевих сплавів інтенсифікує появу стружкоутворення за схемою локального зсуву, зростання швидкості деформації до 10^{-5} - 10^{-6} с $^{-1}$ та наближення температури різання до температури плавлення оброблюваного матеріалу при відносно низьких швидкостях різання. Для сплавів ХН77ТЮР і ХН62БМКТЮ ці критичні швидкості складають 9,3 м/с та 7,5 м/с відповідно [25], а діапазон температур різання 1050-1200 °С. Великий вплив на можливість реалізації зазначених температурно-швидкісних умов має інструментальний матеріал. Аналіз зносостійкості твердого сплаву ВКЮХОМ і синтетичного надтвердого матеріалу на основі кубічного нітриду бору (кіборит) наведений на рис. 5.15, показує, що раціональні швидкості різання жароміцних сплавів інструментом з СТМ можуть бути підвищені в 20 і більше разів в порівнянні з твердим сплавом за рахунок використання ефектів високошвидкісної обробки. Аналіз зносостійкості твердого сплаву ВК10ХОМ та синтетичного надтвердого

матеріалу на основі кубічного нітриду бору (кіборит) наведений на рис. 5.15, показує, що раціональні швидкості різання жароміцних сплавів інструментом з СТМ можуть бути підвищені в 20 і більше разів в порівнянні з твердим сплавом за рахунок використання ефектів високошвидкісної обробки.



1 $V = 250$ м/хв; 2 $V = 400$; 3 $V = 800$; 4 $V = 1600$ м/хв.

Рисунок 5.14 Залежність шляху різання L і глибини лунки Δ на передній поверхні від швидкості різання (а) і подачі (б) при фрезеруванні сталі Ск45 (пластина з твердого сплаву Р20/25; $t = 5$ мм; $B = 1,5$ мм) [26]

При цьому зберігається загальний принцип мінімізації інтенсивності зносу інструменту при певних оптимальних швидкостях і температурах різання, розроблений в працях А. Д. Макарова і С. С. Силіна.

Для забезпечення високої стійкості ріжучі інструменти оснащуються змінними пластинами з твердих сплавів з багатопшаровими покриттями мінералокерамікою і надтвердими матеріалами. Для зменшення дисбалансу корпусу інструментів, які обертаються з високою швидкістю, виконуються з легких сплавів.

При надшвидкісній обробці в значній мірі змінюються підходи до використання МОР. Дослідження показують, що в таких умовах більш ефективно різання насухо або з підведенням газового середовища (рис. 5.16).

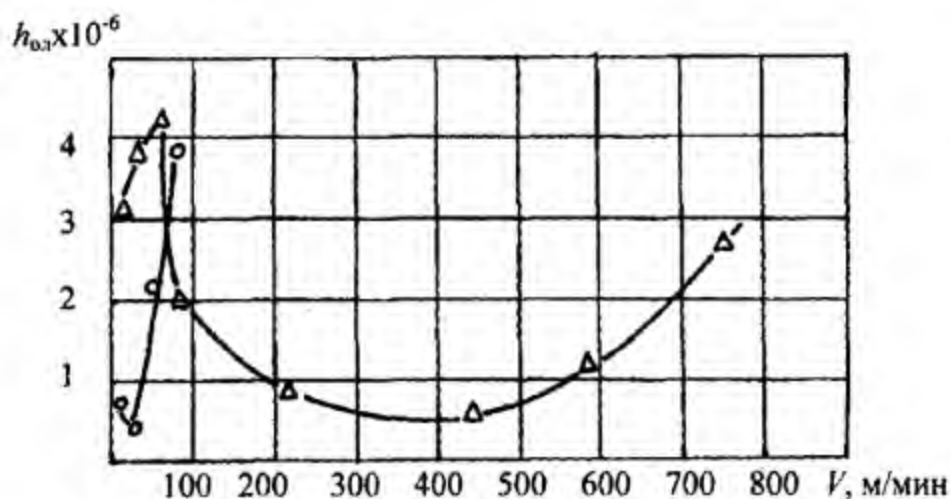


Рисунок 5.15 – Залежність відносного лінійного зносу від швидкості різання при перебігу сплаву ХН77ТЮР різцями зі сплаву ВК10М (о) і ромбічними пластинами кіборіта (Δ) [25]

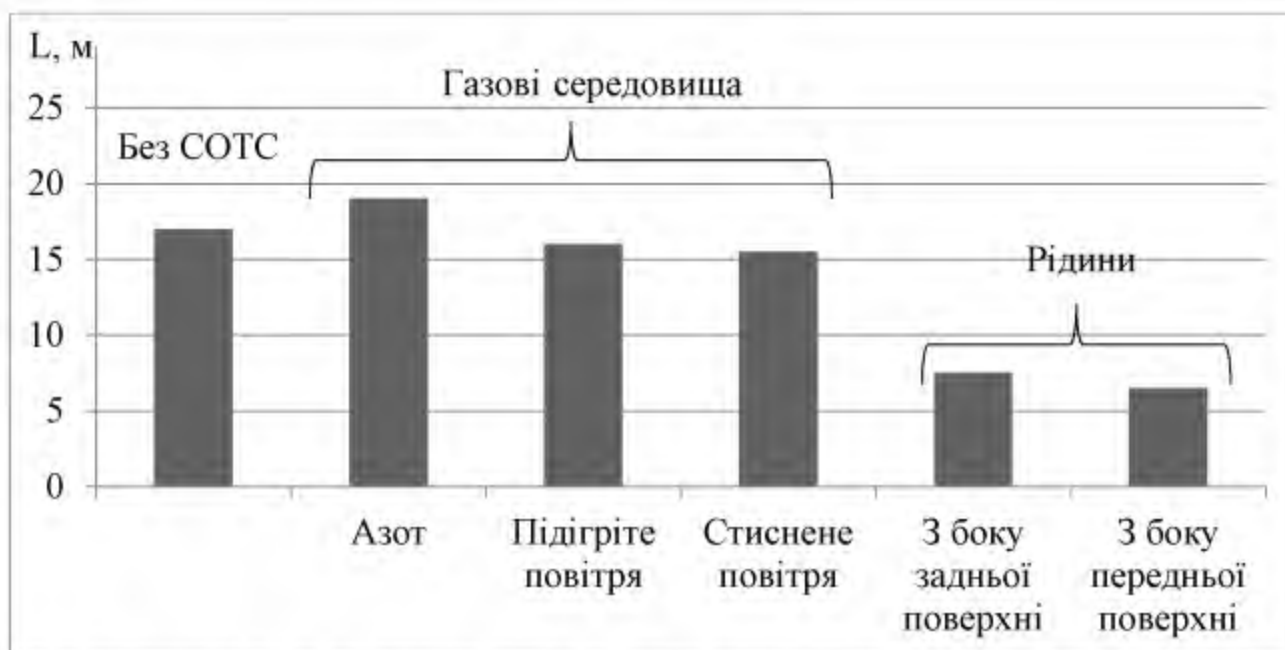


Рисунок 5.16 – Вплив технологічного середовища на шлях різання при фрезеруванні сталі ($V = 800 \text{ м/хв}$, $s_{\text{хв}} = 0,31 \text{ м/хв}$, $t = 5 \text{ мм}$; $B = 1,5 \text{ мм}$; пластина з твердого сплаву P20/25) [26]

5.5 Продуктивність обробки

Продуктивність обробки, як відомо, визначається співвідношенням рівнів швидкостей різання, подачі і періоду стійкості інструменту. Дослідження показують, що при надшвидкісній обробці найбільше видалення металу при постійній стійкості і мінімальному відносному об'ємному зношуванні, забезпечуються при значних подачах і меншій швидкості різання (рис. 5.17).

У зв'язку з різким зростанням швидкостей різання реальна продуктивність обробки надзвичайно велика; при різній точності вона може бути в 1,5-4 рази вище, ніж у шліфування. На практиці застосовуються верстати, що забезпечують знімання металу до $4000 \text{ см}^3/\text{хв}$ або 25-30 кг. Балістичне різання дозволяє підвищити знімання до $100000 \text{ см}^3/\text{хв}$ і навіть до $950\,000 \text{ см}^3/\text{хв}$.

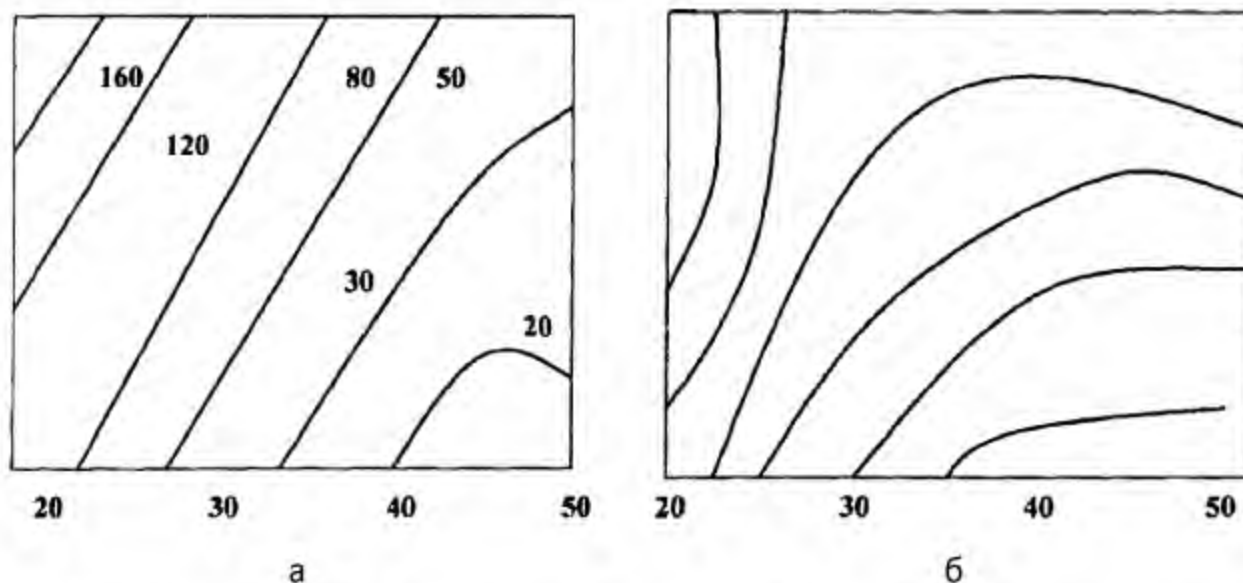


Рисунок 5.17 – Вплив швидкості і подачі на обсяг знятого металу, см^3 , при зносі різця 0,2 мм (а) і відношення зносу до обсягу знятого металу (б) при надшвидкісному точінні вуглецевої сталі С40 [17]

5.6 Висновки

Високошвидкісне різання базується, перш за все, на скороченні кількості тепла, що надходить в інструмент і знижує його ріжучу здатність. Однією з причин цього, поряд з переходом від пластичного руйнування до крихкого, локалізації пластичної деформації в малих обсягах і інтенсивним розігрівом контактних шарів є те, що швидкість подачі перевищує швидкість поширення тепла в оброблюваному матеріалі. Інструмент випереджає теплові потоки в зоні зсуву і велика частина тепла відводиться зі стружкою, не встигаючи переходити в заготовку. Саме це дозволяє вести обробку загартованих і високоміцних сталей, не побоюючись відпускання оброблюваної поверхні.

З метою оптимального розподілу теплових потоків в зоні обробки необхідна концентрація і відведення зі стружкою основної маси тепла із зони різання. Це досягається реалізацією основного принципу HSC – використання малих перетинів зрізу при надвисоких швидкостях різання, що забезпечує високі обороти шпинделя і, відповідно, – високу хвилинну подачу.

Основний ефект HSC – не стільки зменшення частки машинного часу за рахунок інтенсифікації режимів обробки, але перш за все – за рахунок підвищення якості обробленої поверхні і точності виготовлених деталей при максимальній економічній ефективності використання сучасного мехатронного верстатного обладнання.

Необхідна реалізація наступних факторів:

а) верстатне обладнання повинно мати швидкості обертання шпинделя 12 000 об/хв при швидкостях подачі 40-60 м/хв і швидкостях швидких переміщень до 90 м/хв; верстати повинні мати підвищену жорсткість і температурну компенсацію, оснащуватися засобами температурної стабілізації шпинделя, забезпечувати точність позиціонування приводу подач від 5 до 20 мкм;

б) Система ЧПК повинна мати високу швидкість обробки кадрів (від 100 до 200 кадрів в секунду) для забезпечення дуже малих переміщень при великих

хвилинних подачах, прискореннях і гальмуваннях при обробці фасонних (кутових) поверхонь.

в) ріжучий інструмент повинен бути оснащений матеріалами, що забезпечують високу зносостійкість, теплостійкість і надійність при роботі на високих швидкостях різання.

г) допоміжний інструмент, що забезпечує надійне кріплення ріжучої частини, повинен мати мінімальне биття, вібрації і можливість динамічного балансування; збільшення амплітуди биття з 0,005 до 0,02 мкм призводить до зростання інтенсивності зносу на порядок; для високошвидкісної обробки необхідно використовувати конуси HSC, які обрані в залежності від граничних значень оборотів шпинделя;

д) умови охолодження зони різання визначаються необхідністю швидкого видалення стружки із зони різання і зниження викришування різальної крайки внаслідок циклічності впливу нагріву. Цій умові в більшості випадків відповідає повітряне обдування зони різання або сухе електроохолодження (CEO) при охолодженні зони різання іонізованим стисненим повітрям [215];

є) можливості та умови застосування CAM системи при складанні керуючих програм визначаються реалізацією принципу малих перетинів зрізу при високих швидкостях різання і подачах. При врізанні, обробці отворів, пазів, кутів, фасонних поверхонь необхідно використовувати автоматичне згладжування траєкторій за рахунок набору спіральної (трохоїдальної) і еквідистантної обробки, що виключає різке збільшення перетинів зрізу і навантаження на ріжучий інструмент.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ

Розробка технологічного процесу складна задача, оскільки деталь може бути виготовлена різними способами, при використанні тих чи інших технологічних процесів, з залученням різноманітного обладнання. Тому часто виникає необхідність в прийнятті рішень щодо оптимального вибору. Одним з критеріїв оптимальності є економічна ефективність.

Проведемо порівняння витрат при обробці заготовок на свердильній операції 60 при використанні радіально-свердильного верстата 2М55 або при обробці на свердильному верстаті з ЧПК 2М55Ф2.

Визначення економічної ефективності будемо проводити за наступною формулою:

$$E = (C_1 \cdot N + Eф \cdot Ц_1 \cdot n_1) - (C_2 \cdot N + Eф \cdot Ц_2 \cdot n_2), \quad (6.1)$$

де C_1 та C_2 – технологічна собівартість обробки однієї заготовки по першому та другому варіанту операції;

$Eф = 0,15$ – нормативний коефіцієнт ефективності;

$Ц_1 = 82\,000$ грн – ціна одного верстата 2М55;

$Ц_2 = 145\,000$ грн – ціна одного верстата 2М55Ф2;

$N = 10\,000$ – річна програма виготовлення деталей;

n_1 та n_2 – число одиниць обладнання для першого та другого варіанту.

Для розрахунку собівартості обробки однієї заготовки по кожному i -му варіанту використовується формула:

$$C_i = (Зр_i + Зн_i + E_i + П_i + I_i + A_i + O_i + P_i) \cdot t_{шт-к} \quad (6.2)$$

де в дужках стоять норми витрат на одну верстато-хвилину (для спрощення – на одну хвилину норми штучного часу – $t_{шт}$ або $t_{шт-к}$):

– $Зр_i$ – заробітна плата основних робочих;

- $Зн_i$ – заробітна плата наладчиків;
- $Е_i$ – витрати на електроенергію;
- $П_i$ – витрати на пристосування;
- $І_i$ – витрати на різальний інструмент;
- $А_i$ – амортизація;
- $О_i$ – витрати на обслуговування обладнання;
- $Р_i$ – витрати на ремонт обладнання.

Для обробки на верстаті з ЧПК приймемо розряд роботи 4, а для верстата з ручним керуванням – 5. Згідно цих розрядів розраховуємо заробітну плату основних робочих за формулою:

$$З_p = З_t + \frac{\eta}{100} = З_t \cdot К_n, \quad (6.3)$$

де $З_t$ – тарифна хвилинна заробітна плата робочого (прийнятого у проекті розряду) з урахуванням начислень у діючих на базовому підприємстві розцінках. $З_{t1} = 6,46$ грн/хв, $З_{t2} = 5,24$ грн/хв,

$К_n$ – коефіцієнт перевиконання норми;

η – відсоток перевиконання норми;

Відповідно для 5-го та 4-го розрядів отримуємо:

$$З_{p1} = 6,46 \cdot 1,2 = 7,75 \text{ грн/хв.}$$

$$З_{p2} = 5,24 \cdot 1,2 = 6,29 \text{ грн/хв.}$$

Наладчик для свердлильної групи верстатів матиме 5 розряд, згідно розряду, за формулою (6.3) розраховуємо його заробітну плату:

$$З_{n1} = З_{n1} = 6,46 \cdot 1,2 = \text{грн/хв.}$$

Проводимо розрахунок витрат на електроенергію, за обома варіантами, за формулою:

$$E_{лi} = \frac{\sum N \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot C}{60}, \quad (6.4)$$

де $\sum N$ – сумарна потужність електродвигунів верстата;

$K_1 = 0,7$ та $K_2 = 0,7$ – коефіцієнти, що враховують відповідно використання електродвигунів по потужності та по часу;

$C = 2,11$ грн – вартість 1 кВт·ч електроенергії у діючих на даний час розцінках.

$$E_{л1} = \frac{7,7 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 2,11}{60} = 0,13 \frac{\text{грн}}{\text{хв}},$$

$$E_{л2} = \frac{8,5 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 2,11}{60} = 0,13 \frac{\text{грн}}{\text{хв}}.$$

Норми витрат по статтях обладнання:

$$A = \frac{\alpha_1 \cdot 1.15 \cdot Ц}{F_d \cdot 60}, \quad (6.5)$$

$$O = \frac{\alpha_2 \cdot 1.15 \cdot Ц}{F_d \cdot 60}, \quad (6.6)$$

$$P = \frac{\alpha_3 \cdot 1.15 \cdot Ц}{F_d \cdot 60}, \quad (6.7)$$

де A – витрати на амортизацію обладнання;

$\alpha_1 = 15\%$ – процентне відрахування від балансної вартості обладнання;

$Ц$ – балансна вартість обладнання;

O – витрати на обслуговування обладнання;

$\alpha_2 = 0.5\%$ – процентне відрахування від балансної вартості обладнання;

$\alpha_3 = 4.5\%$ – процентне відрахування від балансної вартості обладнання;

P – витрати на ремонт обладнання;

$F_d = 4015$ год/рік – дійсний річний фонд роботи обладнання.

Відповідно витрати на амортизацію обладнання:

$$A_1 = \frac{0,15 \cdot 1,15 \cdot 82000}{4015 \cdot 60} = 5,872 \frac{\text{коп}}{\text{хв}},$$

$$A_2 = \frac{0,14 \cdot 1,15 \cdot 145000}{4015 \cdot 60} = 10,383 \frac{\text{коп}}{\text{хв}}.$$

Відповідно витрати на обслуговування обладнання:

$$O_1 = \frac{0,005 \cdot 1,15 \cdot 82000}{4015 \cdot 60} = 0,196 \frac{\text{коп}}{\text{хв}},$$

$$O_2 = \frac{0,005 \cdot 1,15 \cdot 145000}{4015 \cdot 60} = 0,346 \frac{\text{коп}}{\text{хв}},$$

Відповідно витрати на ремонт обладнання:

$$P_1 = \frac{0,045 \cdot 1,15 \cdot 82000}{4015 \cdot 60} = 1,762 \frac{\text{коп}}{\text{хв}},$$

$$P_2 = \frac{0,045 \cdot 1,15 \cdot 145000}{4015 \cdot 60} = 3,115 \frac{\text{коп}}{\text{хв}}.$$

Оскільки обробка на даній операції здійснюється за три переходи (свердлення, зенкерування, розгортання), то витрати на інструмент визначаються за формулою:

$$I = 0,258 + 0,214 + 0,214 = 0,686 \frac{\text{коп}}{\text{хв}}. \quad (6.8)$$

Відповідно до числа деталей в пристосуванні визначаємо витрати на спеціальне пристосування:

$$П_1 = 0,0703 \text{ коп/хв};$$

$$- П_2 = 0,0529 \text{ коп/хв};$$

Розраховуємо за формулою (6.2) технологічну собівартість для кожного варіанту операції.

$$C_1 = (7,752 + 7,752 + 0,133 + 0,0703 + 0,176 + 5,272 + 0,196 + 1,762) \cdot 10,87 \\ = 257,749 \text{ коп.}$$

$$C_2 = (6,288 + 7,752 + 0,146 + 0,0529 + 0,293 + 10,383 + 0,346 + 3,115) \cdot 8,5 \\ = 241,198 \text{ коп.}$$

Відповідно до числа деталей які обробляють визначаємо витрати на спеціальне пристосування:

- $n_1=50$ шт звідки $\Pi_1=0.134$ грн;
- $n_2=70$ шт звідки $\Pi_2=0.1543$ грн.

Відповідно до проведених розрахунків, визначасмо за формулою (6.2) технологічну собівартість обробки однієї заготовки:

$$C1 = (1.048 + 1.55 + 12.53 + 0.134 + 0.686 + 1.44 + 0.048 + 0.43) \times \\ \times 7.3 = 130.42 \text{ грн.}$$

$$C2 = (1.048 + 1.55 + 15.32 + 0.1543 + 0.686 + 2.15 + 0.05 + 0.65) \times \\ \times 4.08 = 88.16 \text{ грн.}$$

Проводимо розрахунок необхідної кількості верстаті згідно проєктованого ТП виходячи з відсотку завантаженості на операції, за формулою (6.12):

$$\eta = \frac{t_{\text{шт.}-\kappa}}{\tau}, \quad (6.12)$$

$$\eta_1 = \frac{7.3}{64.5} = 0.11$$

$$\eta_2 = \frac{4.08}{64.5} = 0.06$$

Згідно розрахунку приймаємо кількість верстатів – $n_{1,2} = 1$ верстат.

За формулою (6.1) визначасмо економічну ефективність:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & (130.42 \cdot 3500 + 0.15 \cdot 20000 \cdot 1) - (88.16 \cdot 3500 + \\ & + 0.15 \cdot 29900 \cdot 1) = 146425 \text{ грн} \end{aligned}$$

Проаналізувавши результати розрахунків можливо зробити висновок, що обробка заготовки за проектним ТП економічно вигідніша, ніж згідно вихідного ТП.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

Оскільки тема дипломного проекту передбачає розробку технологічного процесу виготовлення деталі «Стінка задня дифузора» та інших деталей, тому нижче розглянемо потенційні небезпеки, що можуть виникати в процесі роботи на механічній дільниці та заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки у відповідності з методичними вказівками.

7.1 Аналіз потенційних небезпек

До фізичних небезпек відносяться, наприклад, механізми та машини, що рухаються, частини виробничого обладнання, заготовки та деталі, що рухаються. До порізів, травм та пошкодження шкіряного покриву може привести також робота без захисних рукавиць. До травмування може привести робота без спеціального оягу при розвантаженні і завантаженні заготовок та деталей. Причиною механічних травм може стати захащення заготовками і деталями робочого місця, організація робочих місць без врахування вимог ергономіки.

У випадку недостатньої уваги персоналу і порушення інструкцій під час роботи з механізмами, що рухаються, ймовірними є механічні травми, ушиби, порізи різного ступеню важкості.

Ураження електричним струмом, у наслідок несправності електрообладнання, невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням, що може призвести до електротравм або летального наслідку.

До санітарно-гігієнічних небезпек відносяться:

- незадовільні параметри повітряного середовища на робочому місці через неправильну систему кондиціонування призводять до захворювання органів дихальних шляхів та легенів, а також негативно впливають на шкіру та очі;

запиленість робочого місця при шліфуванні та поліруванні через недотримання санітарно-гігієнічних правил спричиняє на організм людини фіброгенну, подразнюючу та токсичну дію;

- недостатнє освітлення через вихід із ладу освітлювальних приладів та неправильного їх розміщення впливає на функціонування зорового апарату, тобто визначає зорову працездатність, на психіку людини, її емоційний стан, викликає втому центральної нервової системи, що виникає в результаті докладених зусиль для впізнання чітких чи сумнівних сигналів;

- недостатнє освітлення може також привести до збільшення помилок в процесі роботи, роздратованості, стомлювання;

- підвищений рівень шуму, що супроводжує роботу значної кількості верстатів, призведе до роздратованості, збільшенню помилок, в окремих випадках – до погіршення слуху.

До психофізіологічних небезпек відносяться:

нервово-психічні навантаження в наслідок специфіки виконуваних робіт, що призводить до захворювань загального характеру:

- довготривалий дискомфорт під час виконання роботи в одноманітній позі сприяє передчасному розвитку загального втомлення, зниженню працездатності, а при систематичній безперервній роботі призводить до захворювань периферичної нервової системи: невритів, радикулітів;

- повтор однотипних рухів, які пов'язані з багаторазовим скороченням м'язів є причиною захворювання кистей рук (запалення та набрякання) та зап'ястя, набрякання та оніміння пальців;

- підвищена напруга зору та уваги, інтелектуальні навантаження, тривалі статичні навантаження, монотонність праці при роботі.

Вірогідність загоряння, у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що призводить до пожежі.

Не правильні дії в надзвичайних ситуаціях через недотримання правил дії при надзвичайних ситуаціях може призвести до паніки.

7.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Щоб уникнути механічних та електричних травм під час роботи за обладнанням передбачені заходи по проведенню навчання, перевірки знань з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці». Під час прийому на роботу представник служби охорони праці проводить вступний інструктаж з усіма особами, що прибули на підприємство. На робочому місці безпосередній керівник проводить спочатку первинний, а потім і повторний, позаплановий інструктажі. Згідно Наказу міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій» до роботи допускаються особи, що пройшли медичний огляд та не мають протипоказань до цієї роботи.

Для запобігання аварій, виробничого травматизму та інших небезпечних явищ конструкція обладнання на механічній дільниці відповідає вимогам національних стандартів та технічному регламенту безпеки. Обладнання не створювали небезпеки для людей під час встановлення, налагодження, експлуатації та обслуговування згідно з передбачуваними умовами та технологічними вимогами. З метою уникнення ризиків травмування робітників під час обробки деталей рухомі частини виробничого обладнання огорожені та мають інші види засобів захисту відповідно ДСТУ ENISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож». Знімні, відкидні або розсувні огородження робочих органів, які запобігають небезпеці

при роботі обладнання, а також двері, кришки, щитки, що відкриваються в огороженнях або в корпусі обладнання, мають пристрої, що унеможливають їх випадкове знімання або відкриття та мають блокування, що забезпечує припинення робочого процесу (ДСТУ EN ISO 14119:2017 «Безпечність машин. Блокувальні пристрої, з'єднані з огорожами. Принципи проєктування та вибору»).

Передбачена звукова сигналізація, яка попереджає про пуск обладнання, засоби зупинки, про порушення нормального режиму роботи, автоматичного відключення від джерела енергії при небезпечних несправностях. Елементи конструкції виробничого обладнання не мають гострих кутів, країв і поверхонь з нерівностями, що становлять небезпеку. Робочі місця безпечні зручні ті відповідають вимогам ДСТУ EN 894-3:2017 «Безпечність машин. Ергономічні вимоги до проєктування індикаторів і органів керування. Частина 3. Органи керування», НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями».

З метою уникнення ризиків отримання механічних травм різного ступеню важкості передбачено застосування кольорів та сигналів безпеки, що використовуються на робочих місцях, у відповідності вимогам Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2009 р. № 1262 (Офіційний вісник України, 2009 р., № 92, ст. 3118).

Небезпека ураження електричним струмом при використанні верстатів, приладів з'являється при недотриманні заходів безпеки, а також при відмові або несправності цього обладнання. Наслідки ураження електричним струмом залежать від багатьох факторів: опору організму, величини, тривалості дії, роду і частоти струму, шляхів його проходження через життєво важливі органи, умов зовнішнього середовища.

Категорія приміщення механічної дільниці, відповідно НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» - підвищеної небезпеки (сухе – відносної вологості не більше 60%, металевий під в повітрі, температура до 30°C, залізобетонна підлога).

Відповідно до вимог «Правил улаштування електроустановок» (далі «ПУЕ») для виключення можливого ураження обслуговуючого персоналу електричним струмом, передбачене захисне заземлення. Електроживлення електрообладнання механічної дільниці здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц. Відповідно до вимог «ПУЕ», електрообладнання на механічній дільниці характеризується як електроустановки до 1000 В, тому згідно вимог глави 1.7 «ПУЕ», величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом.

Відповідно до вимог ПУЕ в електроустаткуванні застосовують такі системи засобів: захисне заземлення ізоляції токоведучих частин, захисне відключення, напруга (до 42 В) для переносного освітлення і роботи електроінструменту, повна недоступність працівників до неізольованих проводів.

Обладнання має подвійну ізоляцію: робочу – електрична ізоляція струмоведучих частин електроустаткування, що забезпечує її нормативну роботу та захист від ураження електричним струмом; додаткову ізоляцію для захисту від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції.

Згідно з ПУЕ електричне устаткування за засобом захисту людини від ураження електричним струмом, належить до I класу, оскільки має подвійну ізоляцію, елемент для заземлення та провід для поєднання до джерела живлення, що має заземлюючу жилу і вилку з заземлюючим контактом.

Захисні засоби безпеки електроустаткування будинків виконується відповідно вимога ПУЕ і ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом». Для підвищення рівня захисту від загорання при замиканні на заземні частини, коли величина струму не є достатньою для спрацювання максимального струмового захисту, рекомендовано застосування УЗО зі струмом спрацювання до 400 мА.

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нерационального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неухважністю обслуговуючого персоналу. Для

виключення травматизму зроблено більш зручне та раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними. Враховано рекомендації ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення», відстань між верстатами залежить від розміру верстатів і становить не менше 0,9...1,5 м, що забезпечує безпеку в процесі трудової діяльності. Ширина проїзду на дільниці - 4.5 метрів, ширина проходів становить 2-2.5метри, що дає можливість безпечно та комфортно переміщувати заготовки, деталі, обладнання, а у випадку пожежі гарантує швидку евакуацію людей.

З метою зменшення важкої фізичної праці та запобіганню травматизму в умовах серійного виробництва передбачено механізоване переміщення вантажів, масою понад 20 кг та на відстань понад 25 м. На дільниці передбачено застосування кран-балки, яка призначена для транспортування пристосувань, переміщення тари з партією заготовок або деталей від верстата до верстата. Кран-балка з дистанційним (за допомогою пульта) керуванням. Перевагою дистанційного керування є можливість здійснення постійного візуального контролю за переміщенням вантажу, а перебування працівника в безпечній зоні, що гарантує його особисту безпеку. Попереджувальні надписи про вантажопідйомність крана і його роботу відповідають вимогам Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2009 р. № 1262 (Офіційний вісник України, 2009 р., № 92, ст. 3118).Також враховано, що вантажопідйомність кран-балки на 10-20% вища ніж маса вантажу, що підіймається.

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години, а також спеціально обладнане приміщення кімната відпочинку.

7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для механічної дільниці та робочих кімнат розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МІОУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі «Гігієнічна класифікація праці»). Метеорологічні умови на дільниці: температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень». Роботи на дільниці належать до категорії Іа – робота середньої важкості, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату (табл. 7.1)

Таблиця 7.1. Оптимальні значення температури, вологості та швидкості переміщення повітряних мас

Період року	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Холодний	18-20	40-60	0,1-0,3
Теплий	21-23	40-60	0,1-0,4

Для забезпечення оптимальних умов передбачено устрій системи водяного або парового опалення згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». Вентиляція кабінетів та інших робочих приміщень здійснюються природним наскрізним способом провітрювання приміщення через вікна й фрамуги, а також за допомогою спеціальних вентиляційних припливно-витяжних пристроїв. На дільниці передбачена загальна припливно-витяжна вентиляція, що забезпечує двократний повітряобмін.

Освітлення виробничих приміщень відіграє найважливішу роль у забезпеченні збереження працездатності та здоров'я працівників, що постійно працюють в умовах напруження органу зору. Згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%.

Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Норма освітленості на робочій поверхні становить 200-300 лк. Як джерела штучного освітлення в конструкторському бюро та робочих кімнатах використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛД, які встановлені у світильники типу ЛПО. Для забезпечення нормованого освітлення на ділянці механічного цеху застосовуються світильники типу РСП, з газорозрядними лампами типу ДРЛ. Лампи мають високу ефективність, економічні, надійні, строк експлуатації понад 8000-14000 годин. Враховуючи, що недостатнє освітлення різних зон верстата змушує верстатника близько нахилитися до деталі в процесі її обробки, а також до частин верстата, що обертаються і переміщуються, при його налаштуванні, то передбачена комбінована система освітлення робочих зон верстата, тобто поєднання загального та місцевого освітлення. Рівень місцевого освітлення становить 500лк.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» та ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму». Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою: використання більш сучасного обладнання; розташування обладнання, що створює рівень шуму, більший за нормативно допустимий (понад 80дБа), на значній відстані від більшості робочих місць працівників.

Рівні вібрації під час верстатних робіт перевищують допустимі значення, що визначені в ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

Для зменшення негативного впливу вібрації (спазми судин, порушення кровообігу та терморегуляції, біль в суглобах, тремор кінцівок) під час роботи з ручним механічним, електричним та пневматичним інструментом застосовуються засоби індивідуального захисту (НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» Показ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 19.12.2013 року № 966. Під час роботи в умовах загальної вібрації застосовується спеціальне взуття.

7.4 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки на механічній дільниці розроблено відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» приміщення відноситься до класу можливої пожежі класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (пожежі, пов'язані горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В.)

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою, який регламентується ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпечною» механічна дільниця відповідає категорії «Д» з пожежної безпеки наявність незаймистих речовини і матеріали в холодному стані.

Відповідно до категорії виробництва з пожежної безпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», ступінь вогнестійкості приміщення – II.

Згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», на випадок пожежі передбачені два шляхи евакуації працівників із

адміністративних приміщень та два евакуаційних виходи з механічної дільниці. Максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу, згідно п.2.29 СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» становить 70 метрів.

Згідно вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677 дільниця оснащена переносними вуглекислотними вогнегасниками ВВК-3 з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м² площі приміщення з урахуванням гранично допустимих концентрацій вогнегасної рідини. Доцільність використання даного вогнегасника пояснюються його властивостями. Вогнегасник призначений для гасіння загорання різних речовин, горіння яких не може відбуватися без доступу повітря, загорання електроустановок, що знаходяться під напругою, загорання в приміщеннях при наявності оргтехніки. Головною особливістю вуглекислотний вогнегасників є відсутність слідів гасіння так як вуглекислота після використання не залишає слідів і бруду.

Для механічних цехів та адміністративних приміщень передбачено використання сповіщувачів пожежі, приміщення буде обладнане адресованим автоматичним сповіщувачем ДПП-І, який буде реагувати на дим. Своєчасне виявлення ознак займання й виклик пожежних підрозділів дає змогу швидко локалізувати осередки пожежі та вжити заходи щодо її ліквідації, а отже, створює можливість суттєво зменшити обсяги заподіяної шкоди. Адресований сповіщувач постійно або періодично активно формує сигнал про стан пожежонебезпечності у захищуваному приміщенні та про власну працездатність із зазначенням свого номера (адреси). Автоматичні пожежні сповіщувачі реагують на фактори, що супроводжують пожежу: підвищення температури, дим, полум'я.

Враховуючи пожежну безпеку в приміщеннях та на дільниці також передбачено систему автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники типу ВВК-3). Способи і засоби гасіння пожеж.

Комплексу заходів, спрямованих на ліквідацію пожежі, що виникла, називається пожежогасінням. Основою пожежогасіння є примусове припинення

процесу горіння. На практиці використовують декілька способів припинення горіння, суть яких полягає у приведеному нижче.

Спосіб охолодження ґрунтується на тому, що горіння речовини можливе тільки тоді, коли температура її верхнього шару вища за температуру його запалювання. Якщо з поверхні горючої речовини відвести тепло, тобто охолодити її нижче температури запалювання, горіння припиняється.

Спосіб розведення базується на здатності речовини горіти при вмісті кисню у атмосфері більше 14-16% за об'ємом. Зі зменшенням кисню в

повітрі нижче вказаної величини полум'я горіння припиняється, а потім припиняється і тління внаслідок зменшення швидкості окислення. Зменшення концентрації кисню досягається введенням у повітря інертних газів та пари із зовні або розведенням кисню продуктами горіння (у ізольованих приміщеннях).

Спосіб ізоляції ґрунтується на припиненні надходження кисню повітря до речовини, що горить. Для цього застосовують різні ізолюючі вогнегасні речовини (хімічна піна, порошок та інше).

Спосіб хімічного гальмування реакцій горіння полягає у введенні в зону горіння галоїдно-похідних речовин (бромисті метил та етил, фреон та інше), які при попаданні у полум'я розпадаються і з'єднуються з активними центрами, припиняючи екзотермічну реакцію, тобто виділення тепла. У результаті цього процес горіння припиняється.

Спосіб вогнеперешкоди, заснований на створенні умов, за яких полум'я не поширюється через вузькі канали, переріз яких менше критичного.

Реалізація способів припинення горіння досягається використанням вогнегасних речовин та технічних засобів. До вогнегасних належать речовини, що мають фізико-хімічні властивості, які дозволяють створювати умови для припинення горіння. Серед них найпоширенішими є вода, водяна пара, піна, газові вогнегасні склади, порошки, пісок, пожежостійкі тканини тощо. Кожному способу припинення горіння відповідає конкретний вид вогнегасних засобів. Наприклад, для охолодження використовують воду, водні розчини, снігоподібну вуглекислоту; для розведення горючого середовища – діоксид вуглецю, інертні гази, водяну пару; для ізоляції вогнища – піну, пісок; хімічне

гальмування горіння здійснюється за допомогою брометилу, хладону, спеціальних порошків.

Коротку характеристику основних вогнегасних речовин почнемо з води, яка є найбільш розповсюдженим засобом припинення горіння. Вона має порівняно малу в'язкість, легко просочується в щілини та щіпарини горючої речовини. При цьому вода поглинає велику кількість тепла завдяки випаровуванню (для випаровування 1 кг води витрачається 2258,5 кДж тепла) і утворює парову хмару, що в свою чергу перешкоджає доступу кисню до речовини, що горить. Крім того, перетворюючись на пару, вода збільшується в об'ємі приблизно у 1700 разів. Змішуючись із горючими газами, що виділяються при горінні, пара розводить їх, утворюючи суміш, не здатну до горіння. У вигляді потужних струменів, воду можна також застосовувати для механічного збиття полум'я. Завдяки високій технологічній стійкості води (розкладення на кисень та водень відбувається при температурі 1700°C) її можна використовувати для гасіння більшості горючих матеріалів та рідин. Застосування розчинів змочувачів, які зменшують поверхневий натяг води, дає можливість зменшити її витрати на гасіння деяких матеріалів на 30-50%. Воду для гасіння використовують як у компактному так і у розпиленому стані. Компактні струмені води звичайно застосовують у випадках, коли неможливо близько підійти до осередку горіння, наприклад, при пожежі на великій висоті, на складах лісових матеріалів і т.ін. Дальність, на яку б'є компактний струмінь, досягає 70-80 м. Для отримання компактного струменя використовують ручні та лафетні стволи.

Значно більший вогнегасний ефект спостерігається при застосуванні води у дрібно-розпиленому стані. У такому вигляді її можна використовувати навіть для гасіння легкозаймистих та горючих рідин, оскільки туманоподібна хмара дрібно-розпиленої води ізолює поверхні рідин від проникнення кисню. І хоча вода у компактному стані є добрим електропровідником, що створює певну небезпеку під час гасіння пожеж електроустаткування під напругою, в тонко розпиленому стані вода може використовуватись для гасіння електроустановок, тому що в такому стані електричний опір води різко зростає.

Не рекомендується гасити водою цінні речі, обладнання, книги, документи та інші предмети, що приходять під впливом води до непридатного стану.

Інколи для гасіння вогню застосовують пару. Сутність гасіння пожежі полягає у зменшенні вмісту кисню у повітрі. Концентрація пари у повітрі 30-35% по об'єму приміщення викликає припинення горіння. Крім того, пара частково охолоджує предмети, що погано вентилуються.

Піна – це колоїдна дисперсна система, яка складається із дрібних бульбашок, заповнених газом. Стінки бульбашок утворюються із розчинів поверхнево активних речовин і стабілізаторів, склад яких обумовлює стійкість піни. За способом створення і складом газової фази піни поділяють на хімічні та повітряно-механічні. Хімічна піна отримується в результаті взаємодії кислотного та лужного розчинів у ручних вогнегасниках або хімічних піногенераторах. Повітряно-механічна піна утворюється за допомогою спеціальних піногенераторів із водних розчинів піноутворювачів.

Піна має досить низьку теплопровідність. Вона здатна перешкоджати випаровуванню горючих речовин, а також проникненню парів, газів, теплового випромінювання. Оскільки основою піни є вода, вона також має охолоджувальні властивості. Важливими характеристиками піни є її стійкість і кратність. Низько кратними пінами вогонь гасять, головним чином, на поверхнях. Для гасіння рідин застосовують піни середньої кратності (до 100). Для об'ємного гасіння, вигиснення диму, ізоляції технологічних установок від впливу теплових потоків використовують високократну піну (100-150 та більше).

Вуглекислий газ (CO_2) безбарвний, не горить, при стисканні під тиском 3,5 МПа (35 кг/см²) перетворюється у рідину, що називається вуглекислою, яка зберігається і транспортується у сталених балонах під тиском. За нормальних умов вуглекислота випаровується, при цьому з 1 кг кислоти отримується 509 л газу.

Для гасіння пожеж вуглекислоту застосовують у двох станах: у газоподібному та у вигляді снігу. Сніжинки вуглекислоти мають температуру -79°C . При надходженні у зону горіння вуглекислота випаровується, сильно охолоджує зону горіння та предмет, що горить, і зменшує процентний вміст кисню. В результаті цього горіння припиняється.

Вуглекислота не електропровідна. Застосовують її для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, а також для гасіння цінних речей.

Інертні гази (азот, аргон, гелій) та димові гази мають здатність зменшувати концентрацію кисню в осередку горіння. Вогнегасна концентрація цих газів при гасінні пожеж у закритих приміщеннях складає 30-36% за об'ємом.

Галоїдовані вуглеводні (чотирихлористий вуглець, бромистий етил та ін.) є високоефективними вогнегасними засобами. Їх вогнегасна дія заснована на гальмуванні хімічних реакцій горіння. Галоїдовані вуглеводні застосовують для гасіння твердих та рідких горючих матеріалів, найчастіше при пожежах у замкнених об'ємах. Вогнегасна концентрація цих речовин значно нижча, вогнегасної концентрації інертних газів, наприклад, для бромистого етилу вона складає 4,5%, чотирихлористого вуглецю 10,5% по об'єму. У той же час слід зазначити, що більшість цих речовин є вкрай шкідливими, тому можуть застосовуватися за умови відсутності людей у приміщенні. Відносно помірну токсичність має хладон П4В2, який забезпечує гасіння при концентраціях всього біля 2%. Але за вимогами техніки безпеки евакуація людей повинна бути завершена до його використання. Особи, що беруть участь у ліквідації пожежі, можуть заходити у приміщення, де використовують будь-які галоїдовані вуглеводні, тільки у спеціальних засобах захисту органів дихання.

Вогнегасні порошки використовують для ліквідації горіння твердих, рідких та газоподібних речовин. Вогнегасний ефект застосування порошків складається з хімічного гальмування реакції горіння, утворення на поверхні речовини, що горить, ізолювальної плівки, утворення хмари порошку, яка має властивості екрану, механічного збивання полум'я твердими частинками порошку та виштовхування кисню із зони горіння за рахунок виділення CO_2 . Найчастіше порошки застосовують при горінні лужних та лужно-земельних металів та інших речовин (калію, магнію, натрію), які не можна гасити водою та водяними розчинами.

Стиснуте повітря використовують для горючих рідин із температурою спалаху пари 60°C методом перемішування рідини, що горить. Стиснуте

повітря, яке подається знизу, переміщує нижні, більш холодні шари рідини наверх, зменшуючи температуру верхнього шару. Коли температура верхнього шару стає меншою за температуру запалювання, горіння припиняється. Стиснуте повітря використовують при гасінні пожежу резервуарах нафтопродуктів великої місткості.

Гасіння невеликих осередків пожежі може здійснюватися піском, покривалом з повстини, азбесту, брезенту та інших матеріалів. Метод полягає в ізолюванні зони горіння від повітря і механічному збиванні полум'я.

Вибір вогнегасної речовини залежить від характеру пожежі, властивостей і агрегатного стану речовин, що горять, параметрів пожежі (площі, інтенсивності, температури горіння тощо), виду пожежі (у закритому або відкритому повітрі), вогнегасної здатності щодо гасіння конкретних речовин та матеріалів, ефективності способу гасіння пожежі.

7.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Технічні засоби і способи проведення дезактивації, дегазації та дезінфекції території, техніки, транспорту. Будівель, приміщень, одягу, взуття, засобів захисту, їжі, води, продовольчої сировини.

Санітарною обробкою називається видалення радіоактивних речовин, знешкодження або видалення отруйних речовин, хвороботворних мікробів і токсинів з шкірних покривів людей, а також з надітих індивідуальних засобів захисту, одягу та взуття. Вона може бути повною або частковою. Часткова санітарна обробка при зараженні радіоактивними речовинами проводиться при можливості на протязі першого часу після зараження, за випадком радіоактивних речовин безпосередньо в зоні радіоактивного зараження і повторюється після виходу з неї. При зараженні крапельно-різкими отруйними речовинами та їх аерозолями санітарна обробка проводиться негайно.

При одночасному зараженні радіоактивними, отруйними речовинами і бактеріальними засобами в першу чергу знешкоджується отруйні речовини, а

після проводяться дії, які передбачені для обробки при зараженні радіоактивними речовинами і бактеріальними засобами.

Особовий склад сил ЦЗ і населення використовує для проведення часткової санітарної обробки індивідуальні протихімічні пакети (ІПП8 та його аналоги), а також різні підручні засоби. Правила користування пакстом ІПП8 у вигляді інструкцій прикладаються до нього.

Повна санітарна обробка складається в обмиванні тіла теплою водою з милом. При зараженні радіоактивними речовинами повна санітарна обробка проводиться в тому випадку, якщо після проведення часткової санітарної обробки зараження шкірних покривів та одягу залишається більше допустимих величин. Повна санітарна обробка повинна проводитися не пізніше 35 годин з моменту зараження: проведення її після 1012 годин практично не ефективно. Одяг замінюється, якщо після його обробки зараження остається вище норми. Повна санітарна обробка при зараженні крапельнорідкими ОР і їх аерозолями може проводитися після проведення часткової обробки з гігієнічними цілями.

При зараженні бактеріальними засобами повній санітарній обробці підлягають всі люди, що знаходяться в районі дії бактеріальних засобів, незалежно від того, використовувалися засоби захисту і чи проводилася часткова санітарна обробка. Заражений одяг підлягає дезінфекції або заміні. Для проведення повної санітарної обробки використовуються: санітарні пункти обмивання на базі стаціонарних бань, душових павільйонів і саніпропускників; комплекти санітарної обробки КСО; інфекційно- душові установки ДДА53А, ДДА66, ДДП.

Комплект санітарної обробки КСО призначається для повної санітарної обробки особового складу сил ЦЗ в теплий період року і часткової обробки в холодний час року. Комплект працює від автомобілів ГАЗ, ЗІЛ, Урал 375.Пропускна здібність 1012 чоловік за годину, продуктивність за гарячою водою (38-42) при роботі від автомобіля ГАЗ 34 л/хв., від автомобіля ЗІЛ 56л/хв., час розгортання комплексу-810 хв., маса комплексу з ящиками для упакування - 40 кг.

Дезінфекційна душова установка ДДА53А (ДДА66 і ДДП) призначені для миття людей і дезінфекції (дезінсекції) одягу, взуття і індивідуальних засобів

захисту в польових умовах. Основні технічні характеристики ДДА53А: кількість дезінфекційних камер – 2 (1), об'єм однієї камери – 1,8 м³ (2,5 м³), витрати дизельного палива – 21-29кг/г, дров – 60-85кг/г, ємність котла і водонагрівача- 277 л, продуктивність за паром при роботі на рідкому паливі 315 кг/ч, при роботі на сухих дровах – 205 кг/ч, робочий тиск в котлі – 4 кгс/см², час розгортання установки: влітку – 35-40 хв., зимою – 50-60 хв., час згорання установки: 13-15 хв., розрахунок – 4 (3) чол. Пропускна здібність установки за годину (при роботі котла на рідкому паливі): миття людей з одночасною дезінсекцією одягу літом 96 (56) чол., зимою – 48 (32) чол.; миття людей з одночасною дезінфекцією одягу, зараженого вегетативними формами мікробів, літом 72 (40) чол., зимою – 48(28) чол., миття людей з одночасною дезінсекцією одягу літом 96 (56) чол., зимою – 48(32) чол., миття людей без обробки одягу літом 96(56) чол., зимою – 64(56) чол.

Основні технічні характеристики ДДП: кількість дезінфекційних камер – 1, об'єм однієї камери – 1,4 м³, витрати дизельного палива – 15 кг/г, дров – 40 кг/г, ємність котла – 130 л, продуктивність за паром при роботі на рідкому паливі – 150кг/ч, , при роботі на сухих дровах –100 кг/ч, робочий тиск в котлі – 4 кгс/см², витрати води при роботі установки – 3000л/г,розрахунок – 2 чол. Пропускна здібність установки за годину: миття людей без обробки одягу літом 48 чол., зимою –36 чол.; миття людей з одночасною дезінфекцією одягу літом 36 чол., зимою –30 чол. .

Санітарний обмив очний пункт СОП розгортається в містах та в сільській місцевості на базі бань, душових павільйонів, санпропускників та інших приміщень, які здатні для проведення санітарної обробки. Пропускна здатність СОП, що має 10 душових сіток, 16000 чол. За добу при роботі 20 годин в добу. На одного чоловіка витрачається 30 г мила і 30-35 л води, що нагріта до температури 38-40°C.

Дезактивація, дегазація і дезінфекція техніки і транспорту може бути частковою і повною.

Можливості СОГ: по дезактивації вантажних автомобілів струменем води з брандспойту – 90 од.; по дегазації протиранням змоченим мотлохом – 60 од. (з розрахунку роботи 20 годин за добу).

Заражені радіоактивними речовинами і бактеріальними засобами місцевість і споруди на протязі довгого терміну будуть служити джерелами ураження людей, зараження техніки і транспорту.

Дегазація і дезінфекція хімічним способом здійснюється поливкою місцевості розчинами для дегазації або розсипанням сухих речовин для дегазації. Дегазації одягу, взуття здійснюється кип'ятінням, паро аміачною сумішшю, пранням, провітрюванням.

Дегазація провітрюванням може бути використана для всіх видів одягу, взуття, особливо в випадках їх зараження отруйними речовинами. Вона проводиться при наявності часу і при відсутності інших засобів дегазації. Дезінфекція одягу, взуття здійснюється обробкою пароповітряною або пароформаліновою сумішшю, кип'ятінням, замочуванням в розчинах для дезінфекції, пранням.

Таким чином, у розділі було розглянуто перелік потенційних небезпек, з якими можна стикнутися під час виконання технологічного процесу. Розглянувши та проаналізувавши небезпеки, що можуть виникнути на механічній дільниці в процесі обробки різноманітних деталей, найголовнішим заходом попередження є проведення навчання та інструктажів з охорони праці, дотримання ергономічних та санітарно-гігієнічних вимог, пожежної безпеки та електробезпеки. Кожен працівник має бути достатньо освіченим з питань охорони праці і дотримуватись вимог нормативно-правових актів України, а також норм безпеки життєдіяльності на робочому місці та у життєвих ситуаціях.

ВИСНОВОК

Згідно з завданням на магістерську роботу розглянуті технологічні особливості високошвидкісного фрезерування складнопрофільних деталей. Детально розроблений технологічний процес виготовлення деталі «Стінка задня дифузора». Вибрана заготовка. Призначені припуски на заготовку. Розраховані режими різання і технічні норми часу, які визначені за рекомендаціями нормативних документів. Розроблена операція фрезерування на верстаті з ЧПК з використанням модуля NX CAM системи Siemens NX. Технологічний процес розроблений з урахуванням вимог охорони праці та стійкості до надзвичайних ситуацій. Спроектоване верстатне пристосування, яке дозволяє швидко і надійно закріпити заготовку під час обробки, що в умовах серійного виробництва дуже важливо.

В роботі розглянуті можливості по автоматизації контролю геометричних розмірів деталі. Використання координатно-вимірювальних машин виключити вплив людського фактору на процес контролю.

У частині з охорони праці приведена повна характеристика ділянки механічної обробки поршня з точки зору безпеки проведення робіт, проведена характеристики за ступенем пожежної безпеки, виконаний план евакуації з адміністративних приміщень цеху.

В розділі спецзавдання розглянуті технологічні особливості високошвидкісного фрезерування. Застосування високошвидкісного фрезерування дозволить підвищити якість виготовлення деталей і знизить їх собівартість за рахунок усунення фінішних ручних доводочних операцій.

Складено альбом технологічної документації на виготовлення деталі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Руденко, П.А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении: Учеб. Пособие / П.А. Руденко, Ю.А. Харламов, В.М. Плесканич; Под. общ.
2. ГОСТ 7829-70 «Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые на молотах»
3. Методичні вказівки до практичних занять з технології машинобудування (розділ – проектування технологічних процесів) для студентів спеціальностей / Укл. В.Д. Хоронков, О.В. Олексенко, Д.В. Павленко – Запоріжжя, ЗДІТУ, 1999 р. – 78 с.
4. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник [Текст] / В. И. Баранчиков и др.; под. общ. ред. В. И. Баранникова. М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
5. Справочник технолога машиностроителя: в 2 т. / А.Г. Косилова, Р.К. Мещеряков [и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.: ил.
6. Справочник технолога-машиностроителя / под.ред. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985, т.2 – 665 с.
7. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении: Учеб. пособ. для машиностр. спец. вузов / Я.М. Радкевич, В.А. Тимирязев, А.Г. Схиртладзе, М.С. Островский; под. ред. В.А. Тимирязева. – М.: Высш. шк., 2004. – 272 с.: ил.
8. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник / Я.Л. Гуревич, М.В. Горохов и др. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
9. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, П.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Панова. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с.
10. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках

с числовым программным управлением. Часть I Нормативы времени. – М.: Экономика, 1990. – 210 с.

11. Богуслаев, В.А. Станочные приспособления / В.А. Богуслаев, В.А. Леховицер, А.С. Смирнов. – Запорожье: Мотор Сич, 2000. – 430 с. ISBN 966-7108-22-8.

12. Каменев, С. В. Автоматизация контрольно-измерительных операций в машиностроении: учебное пособие / С. В. Каменев, К. В. Марусич; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2014. – 102 с.

13. 3 coordinate measuring machine XOrbit 55 / XOrbit 87: user manual. – Wiesthal / Spessart: WENZEL PRÄZISION GmbH, 2006. – 98 p.

14. Кишуров, В.М. Резание материалов. Режущий инструмент: учеб. пособие / В. М. Кишуров, Н. К. Криони, В.В. Постнов, П.П. Черников – М.: Машиностроение, 2009. – 492 с.

15. Фадюшин И.Л. Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС / И.Л. Фадюшин. – М.: Машиностроение, 1990. – 272с.

16. Schulz, H. The History of High-Speed Machining / Herbert Schulz // Revista Ciencia and Tecnologia. – №13. – P. 9-18.

17. Schulz, H. High speed Machining / H. Schulz, T. Moriwaki // Annals of CIRP. – Vol. 41. – № 2. – 1992. – pp. 17-18.

18. Ящерицин, П.И. Теория резания / П.И. Ящерицин, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корыпевич. – Мн.: Новое издание, 2005. – 512 с.

19. Гудков, В.В. Пути развития высокоскоростной обработки резанием: Обзор / В.В. Гудков, Н.А. Петров. – М.: НИИМАШ, 1984. – 40 с.

20. Потапов, А.А. Высокоскоростная обработка / А.А. Потапов, Г.И. Айзеншток. – М.: ВНИИ ТЭМР, 1986. – 171 с.

21. Flom, D.G. High-Speed machining / D.G. Flom, R. Komanduri // Metal Handbook. Machining ASM International. – Vol. 16. – 1989. – pp. 595-606.

22. Gente, A. Chip Formation in Machining Ti6Al14V at Extreme High Cutting Speeds / A. Gente, H.W. Hoffmeister // Annals of CIRP. – Vol. 50. – № 1. –2001. – pp. 49-52.

23. Zweiter Bericht über Vervielfachung heute üblicher schmittgeschwindigkeiten / M. Kronenberg // Werkstatt technik. Vol. 51. №3. 2001. pp. 134-141.

24. Бобрик, П.И. Тепловые явления и обрабатываемость резанием авиационных материалов / Пол. ред. П.И. Бобрика. М.: Машиностроение. Вып. 64. 1966. 179 с.

25. Бармин, Б. П. Вибрации и режимы резания / Б. П. Бармин. – М.: Машиностроение, 1972. 72 с.

26. Иванов, В.С. Синергетика: Прочность и разрушение металлических материалов / В.С. Иванов. – М.: Наука, 1992. – 160 с.

27. Ипатов, Н.С. Высокоскоростное резание жаропрочных сплавов / Н.С. Ипатов, Л.С. Каокина // Новые методики обработки резанием конструкционных материалов и эксплуатация режущих инструментов. – М.: МДНТБ, 1988. – С. 70-74.

28. Schulz, Hochgeschwindigkeitsbearbeitung. High-Speed Machining / H. Schulz. Munchen, Wien Carl Hanser Verlag, 1996. 256 p.

ДОДАТОК А. СПЕЦИФІКАЦІЯ РОБОЧОГО ПРИСТОСУВАННЯ

ДОДАТОК Б. СПЕЦИФІКАЦІЯ КОНТРОЛЬНОГО ПРИСТОСУВАННЯ