

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**магістр**

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розроблення технології виготовлення вала пустотілого 05.200.001**  
**з дослідженням процесу поверхневого зміцнення робочих поверхонь**  
**методом обкатування**

Виконав: студент VI курсу, групи МТм-61  
спеціальності \_\_\_\_\_

131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

	_____	<b>Фик Ю. М.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<b>Радик Д. Л.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<b>Ткаченко І. Г.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	<b>Окіпний І. Б.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	<b>Левкович М.Г.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Окіпний І. Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 28 » вересня 2020 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 прикладна механіка  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Фику Юрію Михайловичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технології виготовлення вала пустотілого 05.200.001 з дослідженням процесу поверхневого зміцнення робочих поверхонь методом обкатування.

Керівник роботи Радик Дмитро Леонідович, к. т. н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «28» вересня 2020 року № 4/7-686

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес виготовлення вала пустотілого 05.200.001, річна програма випуску 4000 шт., наукова література присвячена процесу поверхневого зміцнення циліндричних поверхонь методом обкатування.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Зміст. Реферат. Вступ. Аналітична частина. Науково-дослідна частина.

Технологічно-конструкторська частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Висновки. Перелік посилань.

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

Плакат для ілюстрації результатів наукових досліджень – А1. Карти налажки на операції 010 – токарна з ЧПК – А2 та 015 – вертикально-свердлильна – А2. Пристрій для свердління отвору Ø12 – 2А1. Пристрій для фрезерування шпонкового паза 8 N9 – 2А1. Пристрій для несиметричності шпонкового паза 8 N9 – А1.



## РЕФЕРАТ

до кваліфікаційної роботи магістра на тему:

«Розроблення технології виготовлення вала пустотілого 05.200.001 з дослідженням процесу поверхневого зміцнення робочих поверхонь методом обкатування».

Кваліфікаційна робота містить пояснювальну частину з додатками та графічний матеріал. Розрахунково-пояснювальна записка складається із 71 аркушу формату А4 основної частини та додатків, а також 17 літературних джерел. Графічна частина включає 8 аркушів формату А1.

Метою кваліфікаційної роботи є вдосконалення технології виготовлення деталі, дослідження параметрів обкатування робочих поверхонь деталі.

Для досягнення поставленої мети вирішено ряд конструкторсько-технологічні задач:

- Проведено аналіз конструкції, службового призначення об'єкту виробництва, а також зроблено аналіз технологічності;
- Досліджено різні методи виготовлення аналогічних деталей та методи отримання заготовки;
- Розроблено ТП для виготовлення заданої деталі та підібрано необхідне обладнання та інструмент, обчислено режими різання й норми часу;
- Підібрано необхідне технологічне оснащення;
- Запропоновані заходи з ОП й безпеки життєдіяльності.

Оформлено графічну частину кваліфікаційної роботи, а також комплект технічної документації.

В аналітичній частині проведено аналіз по відомих літературних джерелах з питання поверхневого зміцнення деталей машин методом обкатування, сформульовані задачі на кваліфікаційну роботу.

У науково-дослідній частині описаний технологічний процес обкатування циліндричних поверхонь з радіальною та повздовжньою подачами, досліджені технологічні такі параметри процесу обкатування як зусилля і подача ролика, їх вплив на шорсткість обробленої поверхні. Зроблені висновки за результатами досліджень.

Технологічно-конструкторська частина присвячена розробці технології виготовлення деталі. На основі розрахованої річної трудоемності механічного оброблення деталі та виробничої програми дільниці визначено кількість основного й допоміжного обладнання, розроблено плани компонування цеху та розміщення обладнання на дільниці. В цій частині також здійснено конструювання технологічного оснащення.

У розділі ОП й безпека у надзвичайних ситуаціях приведена характеристика механічного оброблення деталі з точки зору ОП, санітарно-гігієнічних умов праці на дільниці й порівняння їх з нормативними. Проведено розрахунок штучного освітлення дільниці.

У підсумку до кваліфікаційної роботи зроблені узагальнені висновки, наведено перелік літературних джерел.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1 Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами. Актуальність теми роботи.	
1.2 Методи вирішення поставленої проблеми.	
1.3 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу	
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	
2.1 Характеристика об'єкту або предмету дослідження	16
2.2 Оброблення результатів досліджень.	19
2.3 Аналіз і узагальнення отриманої інформації.	22
2.4 Висновки та пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень.	25
3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА	
3.1 Службове призначення та характеристика об'єкту виробництва. Аналіз його технологічності	26
3.2 Розроблення маршрутно-операційного технологічного процесу виготовлення виробу з вибором заготовок, технологічного обладнання, оснащення, інструментів	31
3.3 Визначення кількості обладнання. Розроблення планів компонування цеху та розміщення обладнання на дільниці.	49
3.4 Конструювання спеціального оснащення, інструментів	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
4.1 Характеристика дільниці механічного оброблення деталі з точки зору техніки безпеки.	63
4.2 Розрахунок штучного освітлення дільниці	66
4.3 Заходи щодо захисту працюючих від шкідливих та вибухонебезпечних речовин	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	70
ДОДАТКИ	

## ВСТУП

Швидкий розвиток машинобудівної промисловості сприяв науковому розширенню питань, пов'язаних із виготовленням машин, що призвело до виникнення науки про технологію машинобудування. Технологія машинобудування є наукою, про виготовлення машин з дотриманням вимог щодо якості, встановленої виробничої програми випуску виробів, і в задані строки при найменших затратах праці, тобто, при найменшій собівартості.

Науково-технологічний процес – це розвиток та удосконаленням всього народного господарства нашої країни. Збільшення ефективності виробництва і якості продукції є вирішенням головних задач на даний час.

Зараз у технології машинобудування існують 2 основні тенденції: забезпечення необхідної якості продукції й підвищення продуктивності праці. Кожна з цих проблем включає ряд вузких і більш конкретних задач, такі як: надійність й довговічність, геометрична та функціональна взаємозамінність, технологічність, створення нових матеріалів та способів їх оброблення, автоматизація ТП та функцій керування в усіх видах виробництва, а також важливе завдання максимального збільшення ефективності наукових й дослідних робіт.

Підвищення якості, довговічності та надійності машин досягається різними методами, в тому числі технологічними.

Розробка і впровадження у виробництво методів поверхневого пластичного деформування дозволяють успішно здійснювати високопродуктивну чистову обробку, отримуючи вищу втомну міцність деталей машин.

Простота, висока продуктивність і ефективність пластичного деформування поверхневого шару, створили необхідні передумови для широкого застосування цих видів обробки, перш за все самого простого і доступного з них – обкатування роликами, в різних галузях машинобудування.

Виходячи з вище наведеного – метою кваліфікаційної роботи є проведення детального аналізу ТП на основі сучасних досягнень науки й техніки, а також досягнень в сучасному верстатобудуванні, машинобудуванні в цілому розроблення, частково, нового технологічного процесу, який дав би можливість для збільшення продуктивності праці, а також одночасного підвищення якості деталі (виробу) і зменшення її собівартості, тобто який був би прогресивнішим, економічнішим та продуктивнішим від базового.

Основним завданням є розроблення ТП оброблення даної деталі, проектування верстатно-інструментального оснащення, розроблення плану розміщення обладнання на ділянці, а також передбачення заходів з ОП та безпеки у надзвичайних ситуаціях.



# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами. Актуальність теми роботи.

Для зміцнення поверхневого шару у металевих деталях різного функціонального призначення в сучасному машинобудуванні широкого застосування набуло поверхнєве пластичне деформування (ППД) методом обкатування роликками. Для того, щоб підвищити зносостійкість поверхневого шару й поліпшити зовнішній товарний вигляд – застосовують чистове ППД, а для підвищення зносостійкості деталей – зміцнююче оброблення.

Сучасна технологія для зміцнення поверхневих шарів, які в більшості випадків визначають службові характеристики деталей машин, включає ряд технологічних методів: хіміко-термічне оброблення, загартування струмами високої частоти, лазерне оброблення та інші. Для масового виробництва широке застосування для зміцнення поверхневих шарів деталей машин знайшло обкатування роликком.

При здійсненні ТП обкатування найбільше застосовують сферичні або тороподібні ролики. При великих кутах вдавнення ролика в напрямку його подачі на обкатаній поверхні деталі з'являється хвилястість з кроком, відмінним від величини подачі.

У виробничих умовах зміцнююче оброблення циліндричних поверхонь методом обкатування роликками виконують на токарних, карусельних, розточувальних і фрезерних верстатах.

В умовах серійного виробництва, при великій кількості деталей, режими обкатування у кожному конкретному випадку вибирають дослідним шляхом, в результаті експериментальних досліджень. При індивідуальному виробництві, такий підхід непридатний, тому для цього типу виробництва необхідно встановлювати такі конструкторсько-технологічні параметри деталей, які були б достатніми для вибору режимів обкатування безпосередньо на стадії проектування ТП.

В умовах індивідуального й дрібносерійного виробництва, ефективно та якісно використання обкатування роликami вимагає досить обгрунтованої методики вибору режимів ТП обкатування. Завдання є досить складним, якщо врахувати, що на результат при обкатуванні роликami впливають 8 основних параметрів, таких як: матеріал деталі, конструкція й форма деталі, вихідна шорсткість поверхні, яка підлягає обкатуванню, діаметр та радіус профілю ролика, зусилля вдавлювання, подача, кількість проходів. Останніми п'ятьма параметрами можна варіювати, створюючи при цьому раціональне їх поєднання. Частково, керований параметр – це є вихідна шорсткість поверхні деталі.

Узагальнена методика вибору режимів обкатування представлена в роботі [5]. Основою оптимізації режимів обкатування роликami згідно розглядуваної методики – це є вибір зусилля обкатування, який є достатнім для того, щоб відбулося змінання вихідної шорсткості, але щоб його величина не викликала утворення хвилястості на обкатаній поверхні та луценні металу на поверхневому шарі.

При чистовому обробленні деталей методом обкатування роликami отримують поверхні високих класів чистоти. Незважаючи на те, що змінання роликом вихідної шорсткості на більшості конструкційних сталей, при достатньому контактному тиску ролика на заготовку, досягається порівняно просто. Зона найоптимальнішого поєднання параметрів режиму обкатування є обмеженою вузькими межами через появу хвилястості на поверхні, яку обкатують.

В зв'язку із цим, встановлення найоптимальнішого режиму обкатування, для кожного конкретного випадку, потребує додаткового дослідження і є актуальною задачею в технології машинобудування.

## 1.2 Методи вирішення поставленої проблеми.

Ролики кругового профілю найчастіше вживані при чистовому обкатуванні та служать основним інструментом для зміцнення.

Деформація металу при обкатуванні розпочинається із вдавлювання ролика в поверхню деталі в момент їх стикання.

Зона нерухомого контакту ролика кругового профілю з циліндричною деталлю представляє собою еліпс, піввісь якого, за умови що відбувається чисто пружня деформація, розраховують за формулами Герца

$$a_y = \alpha \sqrt[3]{\frac{Pk}{l}}; \quad b_y = \beta \sqrt[3]{\frac{Pk}{l}}, \quad (1.1)$$

де  $a_y, b_y$  – піввісі пружного еліпса відповідно в осьовому і поперечному перетинах деталі;

$P$  – зусилля притискання ролика до деталі;

$\alpha, \beta$  – коефіцієнти, що залежать від  $D_o, D_p$  і  $r$ ;

$$k = \frac{4}{\frac{2}{D_d} + \frac{2}{D_p} + \frac{1}{r}}, \quad l = \frac{8}{3} \frac{E_1 E_2}{E_1(1+\mu_1^2) \cdot E_2(1+\mu_2^2)},$$

$E_1, E_2$  – модулі пружності матеріалів деталі та ролика;

$\mu_1, \mu_2$  – коефіцієнти Пуассона;

$D_o, D_p$  – відповідно діаметр деталі та ролика;

$O_p$  – діаметр ролика;

$r$  – радіус кривизни ролика в осьовому перерізі.

Матеріал реальної деталі під дією робочого зусилля обкатування зазнає пластичної деформації. Опісля зняття навантаження на поверхні деталі залишається еліптичний відбиток ролика (рис 1.1), який, як правило, значно перевищує пружну площадку контакту.

Форма відбитка ролика на оброблюваній поверхні деталі при нерухомому контакті визначається співвідношенням кривизни дотичних поверхонь.

Що стосується величини відбитка, вона залежить від навантаження на ролик і від твердості оброблюваного матеріалу.

Збільшення площі відбитка в міру зростання зусилля обкатування не забезпечує спроби характеризувати режим обкатування питомим тиском.

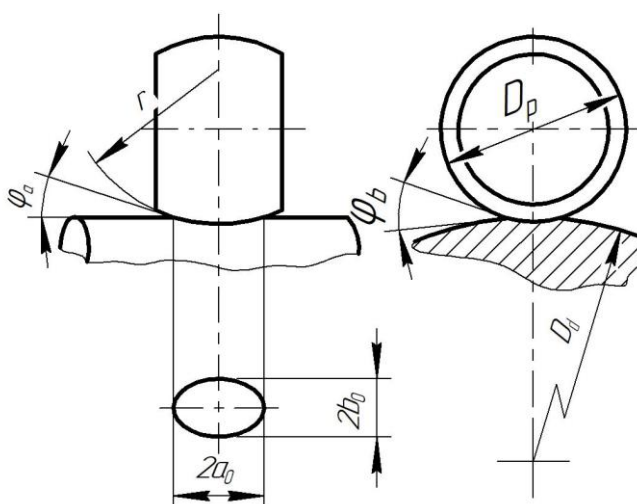


Рисунок 1.1 – Форма відбитка ролика на оброблюваній поверхні деталі при обкатуванні

Тиск на поверхні контакту ролика із деталлю для м'яких металів визначається в основному їх твердістю. У міру збільшення твердості оброблюваного матеріалу залежність тиску від зусилля стає більш явною. Так наприклад на твердих сталях збільшення зусилля вдавлювання в 14 разів призводить до зростання питомого тиску лише вдвічі.

Залежність, яка пов'язує зусилля вдавлювання кульки з діаметром відбитка при вимірюванні твердості визначається формулою Мейєра:

$$P_{ш} = md_{ш}^n = mD_{ш}^n \sin^n \varphi, \quad (1.2)$$

де  $P_{ш}$  – сила вдавлювання кульки;

$d_{ш}$  – діаметр відбитка;

$D_{ш}$  – діаметр кульки;

$\varphi$  – кут вдавлювання кульки;

$m$  – коефіцієнт, що залежить від діаметру кульки й властивостей оброблюваного матеріалу;

$n$  – показник, що залежить від здатності металу до наклепу.

При зміні діаметра кульки, але постійному куті вдавлювання зусилля змінюється пропорційно площі відбитка (закон подібності):

$$\frac{P}{F} = \frac{P_{ш}}{F_{ш}} = \mathit{const}. \quad (1.3)$$

При різних кутах вдавлювання рівність (1.3) не дотримується, тому що питомий тиск (твердість по Мейеру) залежить від кута вдавлювання кульки.

$$HM = \frac{4P}{\pi d^2}$$

Так як відбиток ролика на поверхні деталі має форму еліпса (рис. 1.1), для порівняння зусиль вдавлювання ролика і кульки слід замінити умову подібності рівністю середнього кута вдавлювання

$$\frac{\varphi_a + \varphi_b}{2} = \varphi, \quad (1.4)$$

де  $\varphi_a, \varphi_b$  – кути вдавлювання ролика відповідно в осьовому і поперечному перетинах.

За такої умови можна замінити криві залежності твердості від кута вдавлювання відрізками прямих на ділянках, обмежених розглянутими значеннями кутів. Чим менша різниця в кутах вдавлювання, тим менша похибка, яка вноситься таким припущенням.

Вважаючи, що за умови (1.4) зусилля пропорційні площам відбитків, можна записати залежність з урахуванням (1.2)

$$P = P_{ш} \frac{F}{F_{ш}} = 4mD_{ш}^{n-2} \sin^{n-2} \varphi a_o b_o, \quad (1.5)$$

де  $a_o$  і  $b_o$  – піввісь відбитка відповідно в осьовому і поперечному перетинах.

Формула (1.5) пов'язує зусилля вдавлювання з формою і розмірами відбитка.

Під час обкатування без поздовжньої подачі відбиток ролика перетворюється в кільцевої слід, який має форму контактної канавки, що відповідає кривизні ролика в осьовому перерізі (рис. 1.2).

Після закінчення повного оберту деталі починається другий прохід, під час якого ролик виходить на вже деформовану поверхню і, вдавлюючись в неї,

розширює і поглиблює контактну канавку. При третьому проході процес розширення сліду відбувається менш інтенсивно, так як матеріал у міру збільшення кількості проходів зміцнюється, а ширина зони контакту ролика із деталлю збільшується. Процес розширення контактної канавки триває до деякого  $i$ -го проходів, після якого ширина сліду стабілізується і наступні проходи не призводять до його розширення.

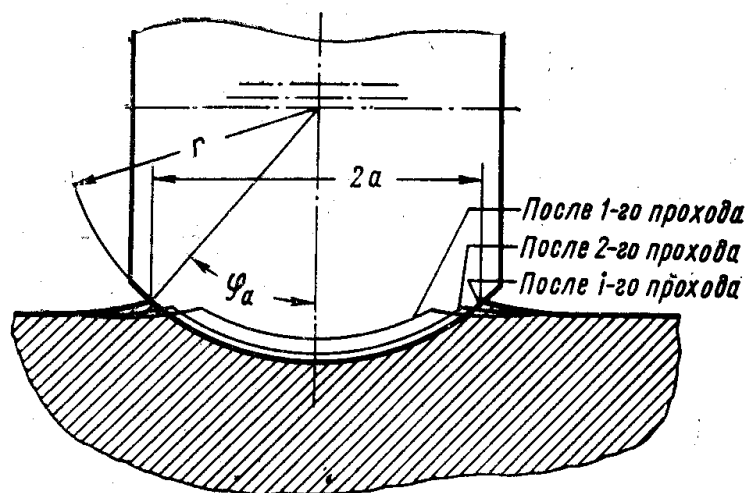


Рисунок 1.2 – Залежність ширини контактної канавки і кута вдавлювання ролика від кількості проходів (обертів деталі) при обкатуванні без поздовжньої подачі

Аналізуючи процес обкатування без подачі ролика, який досліджували на зразках прокату трьох марок сталі 20, 40Х і 18ХНВА. Зразки обточували на діаметр 95 мм з різною шорсткістю поверхні і обкатували однороликовим пристосуванням на токарному верстаті 1К62. Обкатування виконували з різними зусиллями від 600 до 8400 Н роликami з профільним радіусом 25 і 54 мм. Після 1, 2, 5, 25, 50 і 100 оборотів деталі (проходів ролика) заміряли ширину контактної канавки  $2a$ . За шириною канавки з урахуванням радіуса профілю ролика розраховували кут його вдавлювання. Результати показали, що ширина контактної канавки після першого проходів не надто різниться від розміру  $2a_0$  відбитка ролика в напрямку осі деталі.

Розширення контактної канавки зі збільшенням к-сті проходів відбувається на різних сталях по-різному. На легованих сталях підвищеної

твердості (18ХНВА, 40Х) розширення канавки припиняється значно раніше, ніж на м'якій вуглецевій сталі 20. Стабілізація ширини контактної канавки швидше настає при малих зусиллях.

Початкова шорсткість поверхні має деякий вплив на ширину контактної канавки. На м'яких сталях цей вплив незначний, а на сталях підвищеної твердості збільшення шорсткості в 4 рази призводить до додаткового розширення канавки на 30–50%.

При малих зусиллях обкатування шорсткість впливає на ширину канавки більше, ніж при великих. Це пояснюють тим, що як зі збільшенням твердості, так і зі зменшенням робочого зусилля деформація локалізується в більш тонкому поверхневому шарі металу, в якому шорсткість займає відносно велику частку його товщини.

### **1.3 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу**

Вихідна шорсткість деталей не тільки впливає на ширину контактної канавки, але частково зберігається і після обкатування.

Одночасно з визначенням ширини контактної канавки замірювалась шорсткість поверхні залежно від к-сті проходів. Співставлення даних цих замірів з шириною відповідних контактних канавок дозволяє судити про зв'язок шорсткості з деформацією поверхні.

При початковій шорсткості 6–5-го класів чистоти кути вдавлювання групуються в порядку зростання. У міру збільшення вихідної шорсткості розкид результуючих значень шорсткості збільшується головним чином в зв'язку із різницею кривизни роликів.

Збільшеному радіусу профілю ролика в осьовому перерізі при однаковому куті вдавнення відповідає більша глибина вдавнення. При нижчій вихідній шорсткості з великим кроком це сприяє посиленому змінанню мікронерівностей.

При обкатуванні з однаковими кутами вдавнення поверхонь 6-го, 5-го і частково 4-го класів розкид результуючої шорсткості укладається в межі одного

класу. Це дозволяє вважати, що кут вдавнення ролика є величиною, яка однозначно визначає ефективність чистового обкатування.

При обкатуванні циліндричних деталей без поздовжньої подачі обкатного ролика розширення контактної канавки зі збільшенням кількості проходів (обертів деталі) відбувається на різних сталях, особливо з відмінною твердістю, по-різному. Тому, з метою розширення технологічних можливостей процесу обкатування необхідно розробити прогресивніші конструкторсько-технологічні параметри процесу обкатування з радіальною подачею обкатного ролика, а також запропонувати методику їх використання для різних типів виробництва.

За результатами аналізу, усіх вимог та технологічності конструкції – деталь є технологічною за усіма показниками.

Базовий ТП в основному забезпечує поставленні вимоги щодо якості, точності, шорсткості поверхонь отримуваної деталі, проте деякі операції необхідно замінити з метою скорочення основного й допоміжного часу, економії, покращення якості, точності, шорсткості.

Проаналізувавши креслення деталі й сучасні досягнення в даній галузі технологій, устаткування і спорядження при виготовленні подібних виробів, робимо висновок про доцільність проектування технології механічного оброблення заданої деталі на основі типового маршруту виготовлення [8, 13].

Основними етапами проектування будуть:

- 1) вибір заготовки з мінімальною собівартістю отримання;
- 2) вибір оптимального, тобто, з мінімальною собівартістю, ТП механічного оброблення деталі;
- 3) вибір оптимального, тобто, з мінімальною собівартістю оброблення і максимальної продуктивності, технологічного устаткування;
- 4) розробка технологічного спорядження для збільшення продуктивності і зменшення собівартості оброблення;
- 5) розрахунок і компоновка дільниці;
- 6) розроблення заходів з ОП й безпеки при надзвичайних ситуаціях на дільниці механічного оброблення деталі.



## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика об'єкту або предмету дослідження

Обкатування без поздовжньої подачі ролика застосовують в технології машинобудування для отримання канавок кругового профілю на зовнішніх циліндричних поверхнях деталей машин обробкою тиском, а саме методом накатування.

Однак отримати цим методом достатньо значну глибину вдавлення ролика в метал, тобто глибину канавки – важко. Після 50 проходів ролика з профільним радіусом 5,5 мм при робочому зусиллі 840 кг можна отримати канавки глибиною 0,6 мм.

Подальше збільшення кількості проходів обкатного ролика до 100 не призводить до подальшого поглиблення кільцевої канавки. Це пов'язано зі значним зміцненнями металу в поперечному перетині кільцевої канавки під дією радіальної подачі обкатного ролика.

З метою розширення конструктивних параметрів кільцевих канавок і підвищення технологічних можливостей процесу накатування кільцевих канавок запропонована конструкція накатного ролика з нахиленим ребром (рис. 2.1).

Площина симетрії робочого профілю цього накатного ролика нахилена під невеликим кутом до осі його обертання. Завдяки цьому, в процесі обкатування, під час синхронного обертання ролика і деталі по мірі вдавлення робочого ребра ролика в матеріал заготовки відбувається постійне биття робочого профілю в осьовому напрямку до обертового руху деталі на величину  $\delta$ , мм.

Таке конструктивне виконання робочого профілю накатного ролика дозволяє багаторазово збільшити деформацію поверхневого шару металу, та як наслідок, розширити конструктивні параметри кільцевої канавки.

В процесі обертання центр кривизни профілю ролика відхиляється від площини поперечного перерізу на величину:

$$\frac{\delta}{2} \sin(\psi_0 + \psi), \quad (2.1)$$

де  $\psi_0$  – початкова фаза повороту ролика;

$\psi$  – кут повороту ролика в перерізі.

Якщо діаметри деталі  $D_o$  і ролика  $D_p$  кратні, при повторних проходах ролик буде потрапляти на свій слід, а ширина і глибина синусоїдальної канавки в поперечному перетині деталі буде збільшуватися так само незначно, як при накатуванні звичайним роликом без биття.

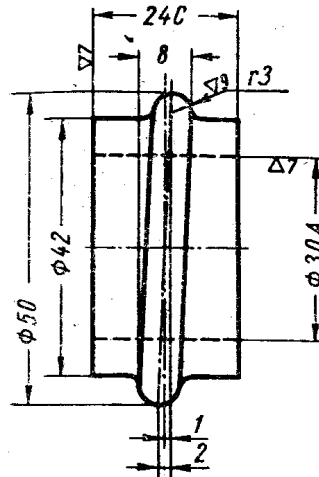


Рисунок 2.1 – Кострукція накатного ролика з нахиленим ребром

В загальному випадку, коли діаметри ролика і деталі не кратні, кожний наступний оборот деталі викличе розширення синусоїди в круговому напрямку на величину

$$\pi (nD_p - D_d) \quad (2.2)$$

де  $n$  – ціле число, округлене до найближчого значення відношення  $D_o : D_p$ .

В результаті того, що відбувається зсув зони пластичного деформування профілю кільцевої канавки, ролик при другому проході починає деформувати поверхню деталі з точковим контактом в вихідний момент, що призводить до інтенсивної деформації металу, значного розширення і поглиблення контактної канавки.

Третій прохід починається при такому ж зсуві синусоїди і знову ролик глибше вдавлюється в метал за рахунок точкового вихідного контакту. Процес інтенсивної деформації металу триває до тих пір, поки кінець синусоїдального сліду після деякого  $i$ -го обороту деталі не співпадає з його початком.

Після цього може початися повторний цикл деформації менш інтенсивний, ніж спочатку, але все ж набагато інтенсивнішою, ніж при обкатці звичайними роликами без биття, так як головна умова збільшеної деформації – точковий вихідний контакт продовжує діяти. Він зберігається завдяки тому, що радіус канавки, яка утворилася, перевищує радіус поперечного січення робочого профілю накатного ролика.

Після закінчення циклу обкатування за перші  $I$  оборотів деталі на обкатаній поверхні залишається сітка слідів ролику.

Відстань між сусідніми слідами в напрямку осі деталі

$$\Delta s = \frac{\delta}{2} \sin\left(\psi_0 + \psi + \frac{2\pi}{I}\right) - \frac{\delta}{2} \sin(\psi_0 - \psi) = \delta \cos\left(\psi_0 + \psi + \frac{\pi}{I}\right) \sin\frac{\pi}{I}, \quad (2.3)$$

де  $I$  знаходиться, як частка, від ділення найменшого спільного кратного діаметрів деталі й ролика на діаметр деталі.

Прирівняємо нулю похідну  $\Delta s$ :

$$\Delta s' = -\delta \sin\frac{\pi}{I} \sin\left(\psi_0 + \psi + \frac{\pi}{I}\right) = 0. \quad (2.4)$$

Ця рівність задовольняється при

$$\psi_0 + \psi + \frac{\pi}{I} = \pm \pi n, \quad (2.5)$$

де  $n$  – ціле число.

Звідси 
$$\psi = \pm \pi n - \frac{\pi}{I} - \psi_0$$

і 
$$\Delta s_{max} = \delta \sin\frac{\pi}{I}.$$

Таким є найбільше зміщення слідів в осьовому перерізі поверхні, яку обкатують, що утворює обкатний ролик з нахиленою робочою поверхнею до осі його обертання.

Значення  $\Delta s_{max}$  характеризує найбільше зміщення слідів в напрямку осі обкатування деталі, що з'явилося в результаті биття робочого профілю ролика.

З формули (2.5) бачимо, що ця величина зростає в міру збільшення биття ролика і зменшується з ростом  $I$ , тобто з ростом найменшого спільного кратного діаметрів деталі та ролика.

Для експериментального підтвердження результатів теоретичних розрахунків за допомогою похилого ролика (рис. 2.1) був обкатаний вал діаметром 95 мм зі сталі 20. Хоча зусилля обкатування становило лише 540 кг, тобто менше, ніж у випадку накатування кільцевої канавки звичайним роликом без биття, на валу були отримані канавки шириною і глибиною 4 мм.

Однак слід зауважити що недоліком є те, що 1,5 мм доводилося на висоту хвилеподібних напливів видавленого металу біля країв канавки.

## 2.2 Оброблення результатів досліджень.

Зусилля обкатування. За основу для розрахунку зусилля необхідного для обкатування циліндричних поверхонь беруть з кута вдавлювання ролика в метал в осьовому перерізі, величина його становить  $2^{\circ}30'$ . При цьому також припускають, що задній кут вдавлювання  $\varphi_a$  зберігається в процесі обкатування рівним куту вдавлювання нерухомого ролика (без повздовжньої подачі).

При малих кутах вдавлювання, характерних для чистового обкатування, це припущення не вносить великої похибки. Розширення контактної канавки при обкатуванні за рахунок повторних проходів відбувається головним чином попереду ролика в результаті зростання хвилі металу.

Використавши формулу (2.5), яка зв'язує зусилля обкатування з кутом вдавлювання ролика та врахувавши величину піввісі відбитка ролика на деталі

$$a_o = r \sin \varphi_a ,$$

цю формулу можна переписати так:

$$P = 4mD_{III}^{n-2} \sin^{n-2} \varphi \sin \varphi_a \frac{b_o}{a_o} r^2, \quad (2.6)$$

Величини постійних коефіцієнтів  $m$  і  $n$ , визначають дослідним шляхом, наприклад для сталі 20 значення  $n = 2,3$ .

Підставимо в формулу (2.6) значення  $D_{III} = 60$  мм,  $\varphi_a = 2^{\circ}30'$ ,  $n = 2,3$  і, приймаючи за еталон сталь 20, для якої  $m = 44$  кГ/мм<sup>2</sup>.

Тоді формула 20 матиме вигляд

$$P_1 = 1,12 \sin^{0,3} \varphi \frac{b_o}{a_o} r^2 \quad (2.7)$$

Відношення  $\frac{b_o}{a_o}$  визначається залежно від діаметра деталі ( $D_o$ ) і ролика ( $D_p$ ) (з рис. 2.1). Кут відповідно до схеми (рис. 1.1) визначається за формулою (2.4)

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{\varphi_a + \varphi_b}{2} = \frac{\varphi_a + \arcsin \frac{2b_o}{D_p} \pm \arcsin \frac{2b_o}{D_d}}{2} = \\ &= \frac{\varphi_a + \arcsin \frac{2r}{D_p} \cdot \frac{b_o}{a_o} \sin \varphi_a \pm \arcsin \frac{2r}{D_d} \cdot \frac{b_o}{a_o} \sin \varphi_a}{2} \end{aligned}$$

Так як значення кутів є досить малі, замінимо значення синусів значеннями кутів:

$$\varphi = \frac{\varphi_a}{2} \left( 1 + \frac{2r}{D_p} \cdot \frac{b_o}{a_o} \pm \frac{2r}{D_d} \cdot \frac{b_o}{a_o} \right) \quad (2.8)$$

Знаки (+) або (-) відповідно відображають збільшення або зменшення кута за рахунок кривизни деталі при обробленні зовнішніх або внутрішніх поверхонь. Для спрощення розрахунку припустимо, що кут  $\varphi$  не залежить від діаметра деталі, при цьому допустимо похибку у величині зусилля не більше 10%. Тоді

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{P} &= \frac{0,3 \sin^{-0,7} \varphi \cos \varphi \Delta \varphi}{\sin^{0,3} \varphi} = 0,3 \operatorname{ctg} \varphi \Delta \varphi ; \\ 0,1 &= 0,3 \operatorname{ctg} \varphi \Delta \varphi. \end{aligned}$$

що справедливо при

$$\Delta \varphi \leq \frac{1}{3} \operatorname{tg} \varphi$$

або, враховуючи малі значення кутів

$$\Delta \varphi \leq \frac{1}{3} \varphi$$

Вважаючи відповідно до формули (2.8)

$$\Delta \varphi = \frac{r}{D_d} \cdot \frac{b_o}{a_o},$$

знайдемо

$$\left| \frac{r}{D_d} \cdot \frac{b_o}{a_o} \right| \leq \frac{1}{6} \left( 1 + \frac{2rb_o}{D_p a_o} \pm \left| \frac{2rb_o}{D_d a_o} \right| \right);$$

Тоді для обкатування зовнішніх поверхонь (валів) остання формула матиме вид

$$|D_d| \geq \frac{8r \frac{b_o}{a_o}}{1 + \frac{2rb_o}{D_p a_o}}.$$

Зусилля обкатування роликом, розраховані за формулою (2.7) відповідають обробці сталі 20. Для обробки інших сталей ці значення слід помножити на коефіцієнт  $k_p$ , величина якого залежить від коефіцієнта Мейера  $m$ :

$$P = k_p P_1.$$

Подача обкатування. Подачу ролика при обкатуванні можна визначити, виходячи з шорсткості новостворюваного мікропрофілю. Прирівнюючи висоту нових поверхневих нерівностей  $R'_z$  до максимальної висоти мікронерівностей  $R''_z$  необхідного класу чистоти, отримаємо допустиму подачу

$$S_{\text{розр}} = 2\sqrt{rR'_z - (R''_z)^2} \quad (2.9)$$

Так як на обкатаній поверхні все ж залишаються сліди вихідної шорсткості, розрахункове значення подачі повинно бути зменшено для досягнення 7-го класу чистоти, на 20%, а для досягнення 8-9-го класів – на 40%. З іншого боку ширина контактної канавки – сліду першого проходу дорівнює розміру відбитка в напрямку осі деталі; при куті вдавлювання ролика  $2^\circ 30'$  ширина складе

$$2a_o = 2r \sin \varphi_a = 0,087 r \quad (2.10)$$

Дійсна подача ролика повинна бути меншою цієї величини.

Зі збільшенням вихідної шорсткості поліпшення якості поверхні спостерігається при більшій кількості повторних проходів ролика. Тому при обкатуванні поверхонь з вихідною шорсткістю 4-го класу подальше збільшення кількості проходів досягається за рахунок повторних поздовжніх проходів.

## 2.3 Аналіз і узагальнення отриманої інформації.

Реалізація оптимального режиму обкатування пов'язана із можливостями використовуваного верстата й обкатного інструменту. При обкатуванні одним роликом робоче зусилля обмежене розмірами і технічними особливостями верстатів.

Найпростіший інструмент для обкатування – це ролик, що вільно обертається на осі, закріпленої в призматичній державці. Однак задовільні результати обкатування цим інструментом отримати важко оскільки вручну приходиться підбирати зусилля, достатнє для зминання мікронерівностей, але яке б ще не викликало хвилястості на обкатаній поверхні.

Складність завдання полягає в тому, що жорсткість системи верстат – інструмент – деталь, при використанні таких пристроїв дуже висока. Вона визначається жорсткістю верстата й деталі.

Зміна натягу в десятих частках міліметра при обкатці на такому верстаті через биття або похибки форми деталі викликає різкі коливання робочого зусилля, а це призводить до зниження якості поверхні, яку обкатують.

Крім того, жорсткість системи в процесі обкатування не залишається постійною. Наприклад, на токарному верстаті при обробці кінців деталі жорсткість системи визначається жорсткістю задньої і передньої бабок і супорта. Жорсткість задньої бабки, як правило, значно нижче передньої (приблизно на 40%). В середині проходу жорсткість системи переважно залежить від жорсткості самої деталі, яку обкатують. На карусельних і розточувальних верстатах жорсткість падає зі збільшенням вильоту шпинделя.

Жорсткість залежить також від зношеності верстатів.

Все це ускладнює, а часто унеможлиблює ефективне використання жорстких обкатних пристроїв.

Для забезпечення нормальних умов роботи при обкатуванні циліндричних поверхонь необхідно вибрати такі режими обкатування, щоб жорсткість накатного інструменту була нижчою від жорсткості верстату.

З цією метою розроблені різні конструкції пристосувань, і зокрема однороликові пристосуванням з пружним корпусом. Схема обкатування вала таким пристосуванням зображена на рис. 2.1.

Важливе значення пристосувань цього типу полягає в їх простоті. Необхідне зниження жорсткості досягається за рахунок тільки зміни конфігурації корпусу без введення додаткових деталей.

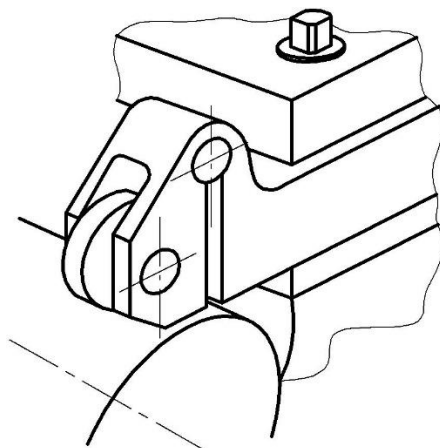


Рисунок 2.1 – Схема обкатування вала пристосуванням з пружним корпусом

Пружинячий корпус обкатного пристосування представляє собою консольний круговий брус прямокутного поперечного перерізу.

Його прогин на рівні осі ролика може (в напрямку прикладання зусилля обкатування) може бути розрахований в залежності від зусилля обкатування  $P$  і геометричних розмірів пристосування  $b$ ,  $h$ ,  $d$ ,  $l$  (рис. 2.1):

$$f = \frac{12}{E} \cdot \frac{P}{b} \left[ \frac{\pi}{16} \left( \frac{d}{h} + 1 \right)^3 + \frac{l}{h} \left( \frac{d}{h} + 1 \right)^2 + \frac{\pi}{2} \left( \frac{l}{h} \right)^2 \left( \frac{d}{h} + 1 \right) \right], \quad (2.11)$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу.

З формули (2.11) можемо зробити висновок, що прогин від сили, який припадає на одиницю ширини пружної частини корпусу обкатного пристосування, визначається його відносними розмірами.

Корпуси подібної форми в поздовжньому розрізі та однакової ширини при рівних прогинах дають однакові робочі зусилля.



Конструкцію пружного корпусу, зображену на рис. 2.1 використовують для одноролікових пристроїв з робочим зусиллям  $700 \text{ кГ}$ , які застосовують на токарних верстатах із висотою центрів  $200 - 300 \text{ мм}$ . Жорсткість його  $250 \text{ кГ/мм}$  на порядок нижча жорсткості верстата і є визначальною для жорсткості, всієї системи. Невелике биття деталі, похибки її форми та інші порушення вихідних умов деформації компенсуються відповідними зсувами ролика за рахунок незначних коливань робочого зусилля обкатування.

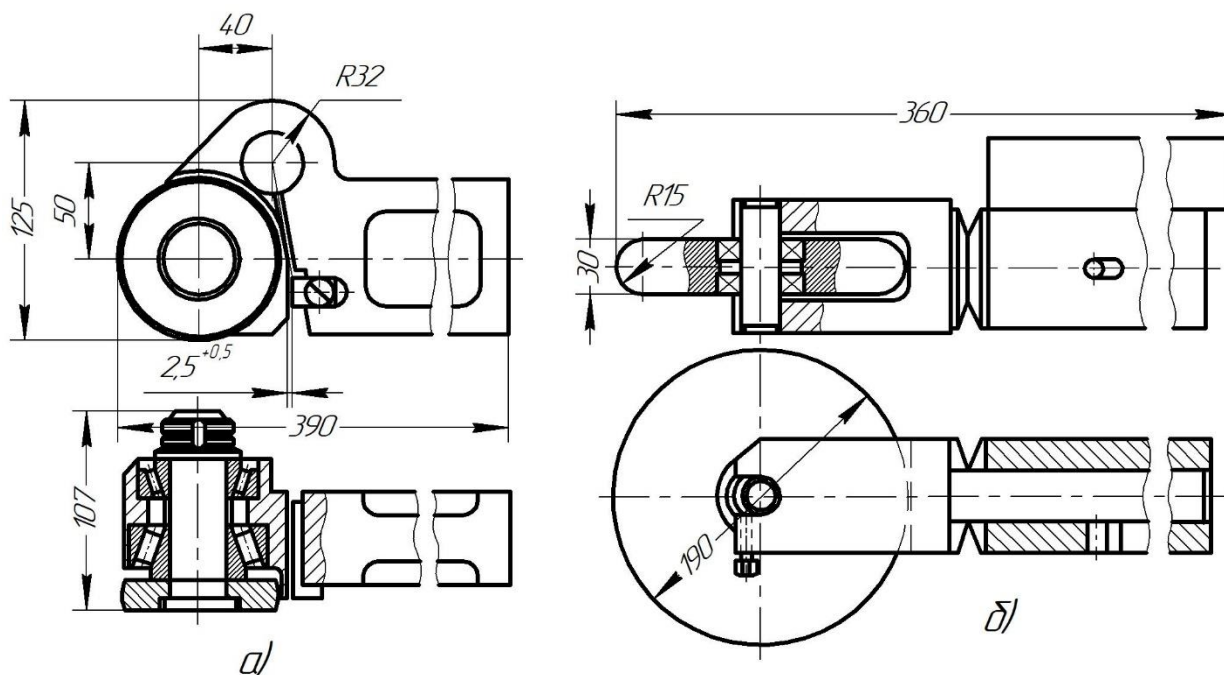


Рисунок 2.2 – Універсальні пристосування зниженої жорсткості:

а) – з пружним корпусом, б) – з тарілчастими пружинами.

На рис. 2.2, а показано ще одне пристосування з пружним корпусом. Пристосування призначене для великих верстатів. Воно розраховане на найбільше робоче зусилля  $3000 \text{ кГ}$  і має жорсткість  $1200 \text{ кГ/мм}$ . Консольне розташування робочого ролика у цього пристосування забезпечує підхід його до буртика, в разі обкатування ступінчастих валів. Однакове видалення осі ролика від верхньої та нижньої опорних поверхонь корпусу полегшує кріплення пристосування як на правій, так і на лівій сторонах різцетримача в залежності від того, праворуч або ліворуч підходить ролик до буртика.

Зниження жорсткості досягається також введенням у конструкцію обкатних пристроїв різних пружних елементів, зокрема тарілчастих пружин. Конструкція однороликового пристрою з тарілчастими пружинами зображена на рис. 2.2, б.

#### **2.4 Висновки та пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень.**

За результатами проведеного літературного огляду, теоретичних досліджень та вироблення практичних рекомендацій з питання обкатування циліндричних поверхонь з радіальною та повздожньою подачами, можна зробити наступні висновки.

1. Головна умова збільшення деформації при накатуванні кільцевих канавок на поверхнях валів – це забезпечення точкового вихідного контакту між робочим профілем обкатного ролика та контуром канавки в поперечному січенні. Ця умова виконується завдяки тому, що радіус канавки, яка поступово утворюється в процесі обкатування роликом, перевищує радіус поперечного січення робочого профілю накатного ролика.

2. З метою попередження хвилеподібних напливів видавленого металу біля країв кільцевої канавки, при обкатуванні роликом, який забезпечує биття робочого профілю в осьовому напрямку до обертового руху деталі необхідно застосовувати ролики спеціального профілю в поперечному січенні.

3. Для того, щоб робоче зусилля зміцнюючого обкатування відповідало значенням, які забезпечують оптимальні умови деформації поверхневого шару, і в процесі обкатування зберігалися в межах допустимих відхилень, необхідно використовувати пристосування зниженої жорсткості. Тобто при обкатуванні необхідно вибрати такі режими і конструкцію оснащення, щоб жорсткість накатного інструменту була нижчою від жорсткості верстату і визначальною для жорсткості всієї системи.

## **3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА**

### **3.1 Службове призначення та характеристика об'єкту виробництва.**

#### **Аналіз його технологічності**

##### **3.1.1 Службове призначення деталі**

Об'єктом виробництва є вібраційна машина, яка використовується в машинобудівному заготівельному виробництві для подрібнення використаних гіпсових литєвих форм.

Основна мета вібраційного подрібнення в машинобудуванні – неперервне вдосконалення технології виготовлення заготовок, створення нових методів і засобів, які підвищують ефективність матеріалу і гарантують дотримання вимог до якості, ріст продуктивності праці й зниження собівартості процесу подрібнення в цілому.

Вібраційна машина, за конструкцією, є достатньо проста для здійснення складальних операцій і практично не вимагає використання спеціального обладнання.

Невелика кількість деталей, які входять у вібраційну машину, дозволяє скоротити технологічний процес складання за рахунок концентрації складальних операцій.

Базовою деталлю цієї машини є вал пустотілий 05.200.001.

Цей виріб, згідно класифікації деталей в машинобудуванні, належить до класу валів. Виготовляється із сталі 40Х.

Для правильної роботи машини, при проектуванні вал-втулки та її виготовлення методом механічного оброблення, необхідно витримувати всі технічні вимоги.

##### **3.1.2 Аналіз технічних умов**

Технічні вимоги, висунуті до деталі, згідно з відповідними кресленнями, повністю відповідають службовому призначенню деталі.

Високі допуски розмірів (6-7 квалітет), параметри шорсткості (до 0,63 мкм), позиційні допуски та допуски форми (відхилення від співвісності – до 20 мкм, відхилення від циліндричності – до 8 мкм, від паралельності – до 25 мкм, від рівномірності профілю поздовжнього перетину – до 12 мкм, радіальне биття – до 25 мкм) пояснюються необхідністю забезпечення високої точності роботи механізму.

Заготовка для даної деталі отримується методом радіального обтискування початкової пустотілої заготовки, що не викликає труднощів при отриманні такого виду заготовок. Завдяки одержанню такої заготовки, одержання наскрізного отвору не викликає труднощів при значній довжині деталі.

Матеріалом для виготовлення даної деталі є: сталь 40Х ГОСТ 4543-71  
Хімічний склад матеріалу:

вуглець	марганець	фосфор	сірка	залізо	хром
0,39 – 0,40 %	0,2 – 0,3 %	до 0,2 %	до 0,14 %	до 98 %	до 1 %

Механічні властивості матеріалу деталі:

- межа міцності на розтяг  $\sigma_{\text{вр.}}$  = 150...160 МПа;
- межа міцності на згин  $\sigma_{\text{и}}$  = 130...140 МПа;
- твердість 230...285 НВ.

З точки зору механічного оброблення, конструкція деталі дозволяє здійснювати обробку зовнішнього контуру прохідними різцями.

Жорсткість вал-втулки є достатньо високою ( $l : d = 5 < 10$ ), що дозволяє одержати високу точність обробки і не обмежує режими різання. В конструкції деталі відсутні різкі переходи діаметрів, тому технологічний процес характеризується простотою і економічністю.

### 3.1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі

Відпрацювання деталі на технологічність передбачає внесення змін до конструкторської й технологічної документації з метою використання найбільш ефективних засобів обробки та побудови оптимальних технологічних процесів.

Відпрацювання конструкції виробу на технологічність, включає оцінку технологічності конструкції, як за якісним, так і за кількісним показниками .

Якісні показники технологічності.

1. Вал пустотілий 05.200.001 має чітко визначену, просту і правильну геометричну форму що полегшує її базування в процесі механічного оброблення, а також спрощує процес отримання заготовки.

2. Фізико-хімічні, механічні властивості матеріалу деталі, її форма та розміри відповідають вимогам технології виготовлення.

3. Показники базових поверхонь (точність, шорсткість) деталі забезпечують можливість застосування типового технологічного процесу її виготовлення.

4. Оброблення основних поверхонь забезпечується напрохід і допускає застосування високопродуктивного устаткування.

5. Деталь має стандартні базові поверхні для початкового оброблення. а також чистові бази.

6. Конструкція деталі дозволяє застосовувати граничні калібри для контролю поверхонь; не вимагає застосування унікальних вимірювальних пристроїв та інструментів.

Кількісні показники технологічності.

Для розрахунків кількісних показників технологічності скористаємося даними, які наведені у табл. 3.1, Додаток А.

1. Коефіцієнт точності:

$$K_{т.} = 1 - \frac{1}{T_{ср.}}, \quad (3.1)$$

де  $T_{ср.}$  – середній квалітет точності:

$$T_{ср.} = \frac{\sum T_i \cdot n}{\sum n}, \quad (3.2)$$

де  $T_i$  – квалітет і-тої поверхні;

$n$  – кількість поверхонь даного квалітету.

$$T_{\text{ср.}} = \frac{5 + 4 \cdot 6 + 7 + 3 \cdot 8 + 9 + 16 \cdot 10 + 3 \cdot 11}{29} = 9,03;$$

$$1) K_{\text{т.}} = 1 - \frac{1}{9,03} = 0,889.$$

При  $K_{\text{т.норм.}} = 0,8$ .

$K_{\text{т.}} > K_{\text{т.норм.}}$  – деталь технологічна за точністю.

2. Коефіцієнт шорсткості:

$$K_{\text{ш.}} = 1 - \frac{1}{\text{Ш}_{\text{ср.}}}, \quad (3.3)$$

де  $\text{Ш}_{\text{ср.}}$  – середня шорсткість деталі:

$$\text{Ш}_{\text{ср.}} = \frac{\sum \text{Ш}_i \cdot n}{\sum n}, \quad (3.4)$$

де  $\text{Ш}_i$  – шорсткість  $i$ -тої поверхні;

$n$  – кількість поверхонь з даною шорсткістю.

$$\text{Ш}_{\text{ср.}} = \frac{3,2 \cdot 10 + 6,3 \cdot 9 + 1,25 \cdot 4 + 1,6 \cdot 2 + 0,63 \cdot 2 + 0,4 + 0,2}{29} = 3,406;$$

$$K_{\text{ш.}} = 1 - \frac{1}{3,406} = 0,706.$$

При  $K_{\text{ш.норм.}} = 0,6$ .

$K_{\text{ш.}} > K_{\text{ш.норм.}}$  – деталь нетехнологічна за шорсткістю.

3. Коефіцієнт уніфікації:

$$K_{\text{у.}} = \frac{n_{\text{уніф.}}}{n_{\text{заг.}}}, \quad (3.5)$$

де  $n_{\text{уніф.}}$  – кількість уніфікованих поверхонь;

$n_{\text{заг.}}$  – загальна кількість поверхонь.

$$K_{\text{у.}} = \frac{26}{29} = 0,896.$$

При  $K_{\text{ш.норм.}} = 0,80$ .

$K_{\text{у.}} > K_{\text{у.норм.}}$  – деталь технологічна за ступенем уніфікації.

#### 4. Коефіцієнт використання матеріалу .

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{m_{\text{дет.}}}{m_{\text{заг.}}}, \quad (3.6)$$

де  $m_{\text{дет.}}$  – маса деталі,

$m_{\text{заг.}}$  – маса заготовки.

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{2.82}{3.61} = 0,781.$$

При  $K_{\text{в.м.норм.}} = 0,75$ .

$K_{\text{в.м.}} > K_{\text{в.м.норм.}}$  – деталь технологічна за ступенем використання матеріалу.

Деталь має добрі базові поверхні, до всіх оброблюваних поверхонь є вільний доступ інструменту. При обробці деталі можна застосовувати пристрої з пневматичним затиском.

Отже, провівши аналіз технологічності конструкції деталі, можна зазначити, що в цілому, дана деталь є достатньо технологічна.

#### 3.1.4 Аналіз базового технологічного процесу

Базовий ТП виготовлення вісі є недосконалим, оскільки він прив'язаний до того обладнання, яке є на заводі, хоча забезпечує поставленні вимоги до якості, точності, шорсткості поверхонь отримуваної деталі.

Метод отримання заготовки є економічно доцільним. Виготовлення заготовки здійснюється методом радіального обтискування, що дозволяє економити матеріал, зменшити відходи сталі при подальшій механічній обробці.

Щодо баз, то вони вибрані правильно з дотриманням принципу єдності та постійності баз. Також виконується умова, що при першій операції обробляються такі поверхні, які в подальшому служать базовими для інших операцій.

Деякі операції технологічного процесу слід замінити на більш прогресивні, які б дозволили збільшити продуктивність.

## 3.2 Розроблення маршрутно-операційного технологічного процесу виготовлення виробу з вибором заготовок, технологічного обладнання, оснащення, інструментів

### 3.2.1 Характеристика типу та організаційної форми виробництва

Тип виробництва встановлюємо за коефіцієнтом закріплення операцій

$$K_{з.о.} = \frac{\Sigma O}{\Sigma C_{пр.}}, \quad (3.7)$$

де  $\Sigma O$  – к-сть всіх технологічних операцій, які виконані або підлягають виконанню на дільницях механічного оброблення;

$\Sigma C_{пр.}$  – к-сть робочих місць ( верстатів ) на дільницях:

$$O = \frac{\eta_{з.норм.}}{\eta_{з.факт.}}, \quad (3.8)$$

де  $\eta_{з.норм.}$  – коефіцієнт завантаження устаткування ( приймаємо рівним 0,75 для попередньо прийнятого за табл. 1.1 [1] серійного виробництва )

$\eta_{з.факт.}$  – коефіцієнт завантаження устаткування.

$$\eta_{з.факт.} = \frac{m_p}{C_{пр.}}, \quad (3.9)$$

де  $m_p$  – розрахункова кількість устаткування;

$C_{пр.}$  – прийнята кількість устаткування.

$$m_p = \frac{1}{60} \frac{T_{шт.-к.} \cdot N}{\Phi_d}, \quad (3.10)$$

де  $T_{шт.-к.}$  – штучно-калькуляційний час, хв. (при розрахунках за наближеними формулами [7]);

$N$  – річна програма випуску, шт.

$\Phi_d$  – дійсний річний фонд часу роботи устаткування. Приймаємо рівним 4055 год для заданого двозмінного режиму роботи, табл. 1.4 [13]).



За попередній ТП механічного оброблення даної деталі приймаємо типовий ТП [8], який передбачає виконання операцій ( наведених в табл. 3.2, додаток А )

$$\text{Отже} \quad K_{3.0.} = \frac{96}{11} = 8,73.$$

Приймаємо великосерійний тип виробництва ( $K_{3.0.} \leq 10$ ).

Визначаємо організаційну форму виробництва.

Організаційна форма виробництва визначається за коефіцієнтом поточності  $R$ . При  $R \geq 0,6$  маємо поточкову форму, при  $R < 0,6$  – групову.

$$R = \frac{T_{шт.с.}}{\tau_6}, \quad (3.11)$$

де  $T_{шт.с.}$  – середній штучний час на операції, хв;

$\tau_6$  – такт випуску, хв.:

$$\tau_6 = \frac{\Phi_0 \cdot 60}{N} = \frac{4055 \cdot 60}{4000} = 60,825 \text{ хв.} \quad (3.12)$$

Штучний середній час, згідно з табл. 3.2, додаток А, рівний:

$$T_{шт.с.} = \frac{6.31 + 11.11 + 18.56 + 3.18 + 3.60 + 3.49 + 3.36 + 13.14 + 6.70 + 9.16 + 6.19}{11} = 7.71$$

хв.

$$\text{Тоді} \quad R = \frac{7.71}{60.825} = 0,127.$$

За умови  $R < 0,6$ , маємо групову форму організації виробництва.

Попередньо підраховуємо розмір партії запуску  $\Pi_0$ . Добове завдання:

$$\Pi_{д.} = \frac{N}{\Phi_{д.дн.}}, \quad (3.13)$$

$$\Pi_{д.} = \frac{4000}{254} = 15.75.$$

Приймаємо  $\Pi_0 = 16 \text{ дет.}$

Розмір партії деталей:

$$P_o = P_d \cdot a = 16 \cdot 6 = 96 \text{ дет.}, \quad (3.14)$$

де  $a = 6$  – періодичність запуску партії у днях.

Знаходимо кількість змін  $Z_o$ , необхідних для оброблення партії деталей

$P_o$ :

$$Z_o = \frac{T_{\text{шт. с.}} \cdot P_o}{F_{\text{доб.}} \cdot \eta_{\text{з.норм.}}} = \frac{7.71 \cdot 96}{476 \cdot 0.85} = 1.829,$$

де  $F_{\text{доб.}} = 476 \text{ хв.}$

Приймаємо  $Z_{\phi} = 2 \text{ змін.}$

Розраховуємо фактичну кількість деталей у партії:

$$P_{\phi} = \frac{F_{\text{доб.}} \cdot \eta_{\text{з.норм.}}}{T_{\text{шт. с.}}} \cdot Z_{\phi} = \frac{476 \cdot 0.85}{7.71} \cdot 2 = 104.95 \text{ дет.}$$

Приймаємо  $P_{\phi} = 105 \text{ дет.}$

### 3.2.2 Вибір методу одержання заготовки

Заготовку для даної деталі можна отримати такими способами: штампування на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ); радіальне обтискування; профільний прокат (труба товстостінна).

Загальні вихідні дані: матеріал деталі – сталь 40Х; маса деталі – 2,82 кг; річна програма – 4000 шт.; тип виробництва – великосерійний.

Варіанти трьох методів отримання заготовки наведені в табл. 3.3, додаток А.

Для вибору раціонального методу отримання заготовки проведемо техніко-економічне обґрунтування способу одержання заготовки, яке полягає у розрахунку та порівнянні декількох варіантів отримання заготовки і вибору найдешевшого.

Вартість поштучної заготовки визначимо за формулою:

$$S_{\text{заг.}} = \left( \frac{S}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\text{П.}} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх.}}}{1000}, \quad (3.15)$$

де  $q$  – маса деталі, кг;

$k_m, k_c, k_b, k_m, k_n$  – коефіцієнти, які залежать : від класу точності, групи складності, маси, матеріалу, об'єму виробництва.

Для першого варіанту:

$$S_{\text{заг.1}} = \left( \frac{520}{1000} \cdot 3.61 \cdot 1.030 \cdot 0.7 \cdot 0.9 \cdot 1.57 \cdot 0.93 - (3.61 - 2.82) \cdot \frac{112}{1000} \right) = 1,690 \text{ грн.}$$

Для другого варіанту:

$$S_{\text{заг.2}} = \left( \frac{540}{1000} \cdot 3.26 \cdot 1.19 \cdot 0.7 \cdot 0.9 \cdot 1.57 \cdot 0.93 - (3.26 - 2.82) \cdot \frac{112}{1000} \right) = 1,878 \text{ грн.}$$

Для третього варіанту:

$$S_{\text{заг.3}} = \left( \frac{480}{1000} \cdot 6.91 \cdot 1.12 \cdot 0.7 \cdot 0.9 \cdot 1.57 \cdot 0.93 - (6.91 - 2.822 \cdot 0.82) \cdot \frac{112}{1000} \right) = 2,959 \text{ грн.}$$

Річна вартість заготовок на річну програму:

$$2) S_{\text{заг.1}}^P = 1,690 \cdot 4000 = 6760 \text{ грн.}$$

$$3) S_{\text{заг.2}}^P = 1,878 \cdot 4000 = 7512 \text{ грн.}$$

$$4) S_{\text{заг.3}}^P = 2,959 \cdot 4000 = 11836 \text{ грн.}$$

Згідно з [26], табл. 21, ст. 138, штампування на ГKM дає 13-14 квалітет точності, радіальний обтиск – 11 квалітет, прокат – 12-13 квалітет. В зв'язку із цим, у ТП механічного оброблення вводяться наступні зміни:

1. Штампування на ГKM – змін нема.

2. Радіальний обтиск.

Виводяться з ТП всі переходи, пов'язані з чорновим проточуванням і розточуванням (крім одноразових).

3. Прокат.

Вводиться операція розрізання прокату на штучні заготовки.

Для визначення зміни технологічної собівартості кінцевого отримання деталі (заготовка + механічне оброблення), користуємось даними [23]. При цьому зміна собівартості відбудеться на величину:

$$S^{зм.} = T_{ум^{зм.}} \cdot C_n$$

де  $T_{ум^{зм.}}$  – штучний час, на який відбулася зміна, хв.

$C_n$  – нормативна собівартість 1 хв. оброблення на верстаті відповідної марки.

1. Штампування на ГKM – змін нема.

2. Радіальний обтиск

005. Токарно-гвинторізна. Верстат моделі 1Т61

а) Точити поверхню 9 начорно,  $T_{ум} = 0,47$  хв.

$$S^{зм.} = 0.47 \cdot 5.52 / 60 = 0.043 \text{ грн.}$$

010. Токарно-гвинторізна. Верстат моделі 1Т61

а) Точити поверхню 6 начорно,  $T_{ум} = 0,34$  хв.

б) Точити поверхню 7 начорно,  $T_{ум} = 0,27$  хв.

в) Точити поверхню 8 начорно,  $T_{ум} = 0,35$  хв.

$$S^{зм.} = (0.34 + 0.27 + 0.35) \cdot 5.52 / 60 = 0.088 \text{ грн.}$$

015. Токарно-гвинторізна. Верстат моделі 1Т61

а) Розточити отвір 24 начорно,  $T_{ум} = 0,98$  хв.

$$S^{зм.} = 0.98 \cdot 5.52 / 60 = 0.090 \text{ грн.}$$

$$S^{зм.} = 0.043 + 0.088 + 0.090 = 0.221 \text{ грн.}$$

3. Прокат.

а) Розрізання прокату на відрізнаму верстаті моделі 8541,  $T_{шт} = 0,49$

$$S^{зм.} = 0.49 \cdot 7.28 / 60 = 0.059 \text{ грн.}$$

З врахуванням змін на механічне оброблення будемо мати:

$$S_{зар.1}^p = 6760 \text{ грн.}$$

$$S_{зар.2}^p = 7512 - (0.221 \cdot 4000) = 6628 \text{ грн.}$$

$$S_{зар.3}^p = 11836 + (0.059 \cdot 4000) = 12072 \text{ грн.}$$

Таким чином, вибираємо радіальний обтиск як найбільш раціональний метод для отримання заготовки.

Економічний ефект у перерахунку на річну програму складе:

- варіант 2 у порівнянні з варіантом 1:

$$\Delta S = 6760 - 6628 = 132 \text{ грн.}$$

- варіант 2 у порівнянні з варіантом 3:

$$\Delta S = 12072 - 6628 = 5444 \text{ грн.}$$

### 3.2.3 Вибір технологічних баз

Вибір баз визначає точність виконання тих чи інших розмірів, правильності взаємного розташування поверхонь, ступеня складності пристосувань, виборі різального, вимірювального та інших видів інструментів.

Найточнішої обробки деталей можна досягнути, коли процес обробки здійснюється із однієї бази, особливо коли обробка здійснюється на декількох верстатах.

Для операції 010 (токарно-копіювальна), (схема базування зображена на рис 3.1).

Згідно зі схемою а), рис. 3.1:

$$E_{\delta} = E_{A_{\delta}} = T(A_{\delta}) = T(A_2) + T(A_1) = 1.4 + 0.87 = 2.27 \text{ мм.}$$

Згідно зі схемою б):  $E_{\delta} = 0$

При фрезеруванні шпонкового паза (операція 020) заготовку можна базувати або на призми, або в координатний кут (рис. 3.2.).

Згідно зі схемою а), рис. 3.2:

$$E_{\delta} = E_{B_{\delta}} = T(B_{\Delta}) = T(B_1) + T(B_2) = T(B_1) + \left[ \frac{T(D)}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{T(D)}{2} \right] =$$
$$= 0.2 + \left[ \frac{0.016}{2 \sin \frac{90}{2}} - \frac{0.016}{2} \right] = 0.203 \text{ мм}$$

Згідно зі схемою б):  $E_{\delta} = 0$

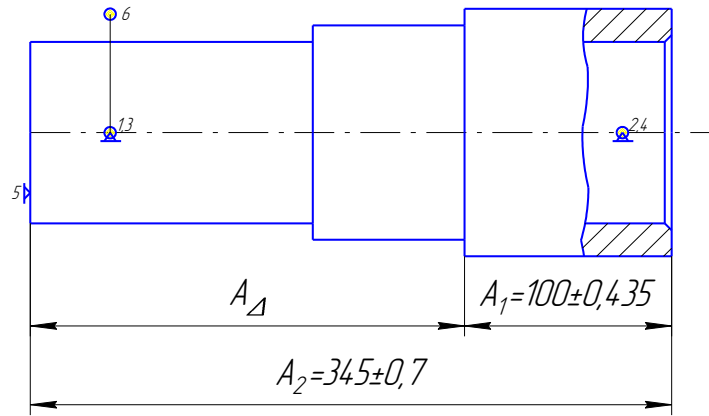


Схема а)

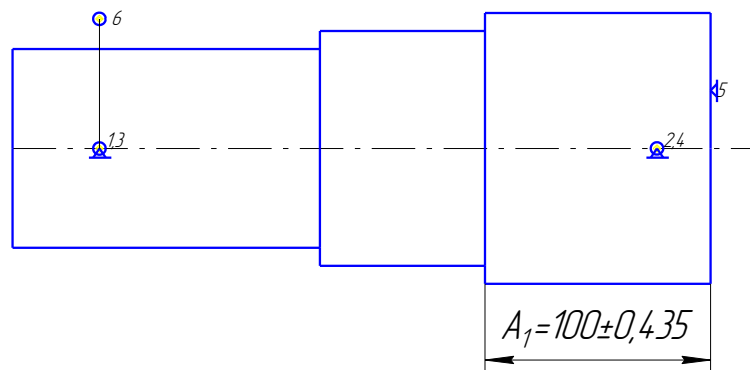


Схема б)

Рисунок 3.1 – Схеми базування деталі при виконанні операції 010.

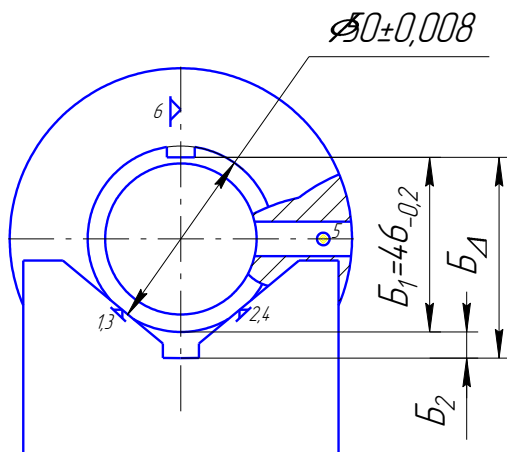


Схема а)

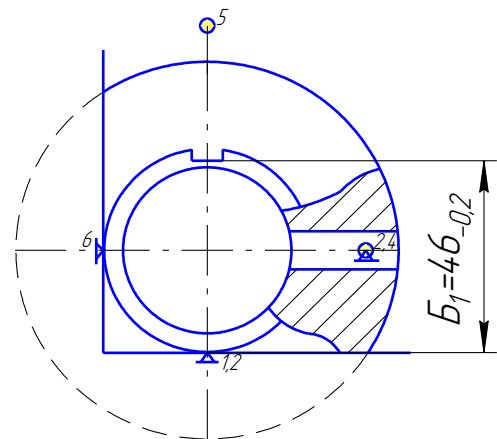


Схема б)

Рисунок 3.2 – Схеми базування при виконанні операції 020.

### 3.2.4 Вибір варіанту технологічного маршруту механічного оброблення

Порядок вибору методів оброблення покажемо на прикладі оброблення поверхні  $\varnothing 55$  (допуск розміру  $\pm 0,0065$  мм, шорсткість 0,63 мкм).

Методом отримання заготовки  $\epsilon$  – радіальне обтискування дозволяє отримати дану ступінь з допуском по 11-12 квалітеті точності й шорсткості  $Ra = 12,5$  мкм. Тоді уточнення розміру:

$$\epsilon_{y \text{ заг.}} = \frac{T_{\text{зад.}}}{T_{\text{дет.}}} = \frac{300}{13} = 23,08., \quad (3.16)$$

Кількість переходів оброблення:

$$n = \frac{\lg \epsilon_{y \text{ заг.}}}{0,46} = \frac{\lg 23,08}{0,46} = 2,96.. \quad (3.17)$$

Приймаємо  $n = 3$ .

Згідно з табл. 4.10 [13], приймаємо:

- точіння одноразове - 9 квалітет ( $T_1 = 74$  мкм), шорсткість – 3,2 мкм ;
- шліфування попереднє – 6-7 квалітет ( $T_2 = 22$  мкм), шорсткість – 0,8 мкм ;
- шліфування тонке – 5 квалітет ( $T_3 = 13$  мкм), шорсткість – 0,2 мкм ;

Відповідні уточнення :

$$\epsilon_1 = \frac{300}{74} = 4.05; \quad \epsilon_2 = \frac{74}{22} = 3.36; \quad \epsilon_3 = \frac{22}{13} = 1.69;$$

$$\epsilon_{\delta} = 4,05 \cdot 3,36 \cdot 1,69 = 22,99$$

Умова  $\epsilon_y \leq \epsilon_{y \text{ заг.}}$  виконується.

Всі інші розрахунки зводимо у табл. 3.4, додаток А.

На поверхню 9 призначаємо двократне оброблення (одноразове точіння, полірування), так як воно вимагається необхідною шорсткістю ( $Ra = 1,25$  мкм )

На решту поверхонь (не вказану в табл. 3.4 додатку А) призначаємо однократне оброблення.

Виходячи з типу виробництва (великосерійного), креслення деталі і норм точності, розроблюємо раціональну структуру ТП механічного оброблення даної деталі.

Оброблення найбільш точних поверхонь 6 ( $\varnothing 50$ ,  $Ra = 0,63 \text{ мкм}$ ) і 8 ( $\varnothing 55$ ,  $Ra = 0,63 \text{ мкм}$ ) доцільно проводити за допомогою точіння і шліфування. Процес шліфування при цьому можна забезпечити з поздовжньою подачею чи врізанням. Токарне оброблювання зовнішніх поверхонь можна проводити на копіювальних чи багаторізцевих півавтоматах, оснащених поздовжнім і поперечним супортами. Використання при цьому токарно-гвинторізних верстатів із ЧПК є недоцільним з огляду на тип виробництва.

Викінчувальне оброблення отвору 24 ( $\varnothing 48 \text{ H7}$ ) необхідно здійснювати на внутрішньо-шліфувальній операції, оскільки лише в такому випадку забезпечується виконання принципу спадковості баз.

Оброблення двох пазів 28 можна проводити одночасно за умови наявності спеціально спроектованої наладки фрез.

Оброблення отвору 27 проводиться на вертикально-свердлильній операції, пазу 33 – на вертикально-фрезерній, пазу 26 – на довбальній.

В якості критерію оптимізації при проектуванні раціонального ТП приймаємо величину мінімальної технологічної собівартості оброблення.

К-сть необхідного обладнання та його завантаження визначаємо за формулами. Потужність оброблення встановлюємо по найбільш завантаженому переходу табличним способом, згідно з [12].

Нормативну собівартість 1 години роботи обладнання встановлюємо за довідником [9], а технологічну визначаємо за залежністю:

$$C_{\text{т.}} = 0,017 \cdot C_{\text{н.}} \cdot T_{\text{шт.}}$$

Складаємо орієнтований граф ТП щоб визначити та вибрати оптимальний варіант (рис. 3.3.).

Згідно з рис. 3.3, конкуруючими варіантами будуть такі:

$$\text{ТП 1} = 1+2+4+6+8+9+10+11+12+13+14+15;$$

$$\text{ТП 2} = 1+2+4+6+8+9+10+11+12+13+16+17 ;$$



$$ТП 3 = 3+5+7+8+9+10+11+12+13+14+15;$$

$$ТП 4 = 3+5+7+8+9+10+11+12+13+16+17.$$

Технологічна собівартість цих варіантів:

$$ТП 1 = 215,38 \text{ коп.};$$

$$ТП 2 = 227,45 \text{ коп.};$$

$$ТП 3 = 199,88 \text{ коп.};$$

$$ТП 4 = 211,95 \text{ коп.}$$

Таким чином, найбільш раціональним, з точки зору, мінімальної собівартості, буде ТП 3, для якого  $C_m = 199,88 \text{ коп./шт.}$

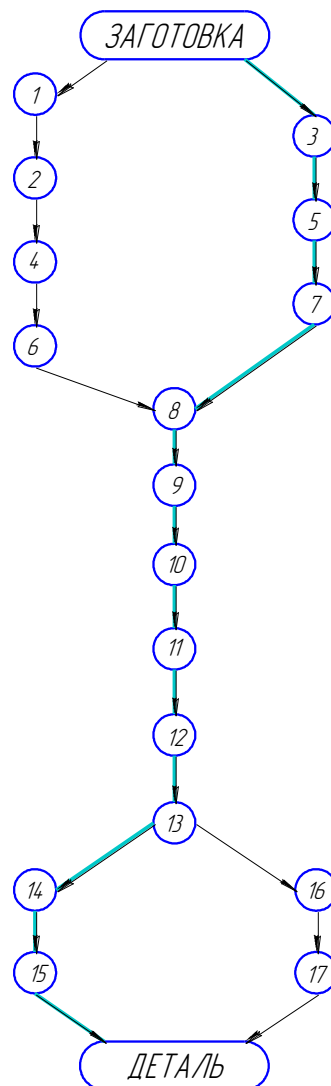


Рисунок 2.4 – Орієнтований граф ТП:

—————> – можливий варіант ТП,

—————> – оптимальний варіант ТП.

Структура оптимального варіанту ТП наступна:

005. Токарно-копіювальна.

Поздовжній супорт. Розточити отвір 24, розточити торець 32, розточити отвір 22. Поперечний супорт. Розточити фаску 25, точити торець 1.

010. Токарно-копіювальна.

Поздовжній супорт. Точити поверхню 10, точити поверхню 9.

Поперечний супорт. Точити канавку 17, точити фаску 21.

015. Токарно-копіювальна.

Поздовжній супорт. Точити поверхні 3, 6, 4, 5, 7, 8.

Поперечний супорт. Точити канавки 11, 12, 13, 14, 15, 16 фаски 34, 18, 20.

020. Вертикально-свердлильна. Свердлити отвір 27.

025. Вертикально-фрезерна. Фрезерувати паз 33.

030. Горизонтально-фрезерна. Фрезерувати два пази 28 одночасно.

035. Довбальна. Довбати паз 26 начорно. Довбати паз 26 начисто.

040. Токарно-копіювальна. Нарізати різь 7, нарізати різь 10.

045. Внутрішньо шліфувальна. Шліфувати отвір 24

050. Круглошліфувальна. Шліфувати поверхні 6, 8, торець 31 попередньо врізання.

055. Круглошліфувальна. Шліфувати поверхні 6, 8, кінцево, полірувати поверхню 9 врізанням.

Розрахунок оптимального варіанту ТП поданий в табл. 3.5, додаток А.

### **3.2.5 Визначення припусків на оброблення та розмірів заготовки**

Для поверхні 8  $\varnothing 55$  визначаємо припуски аналітичним способом [7]. Призначення припусків на всі інші поверхні проводимо згідно з ГОСТ 26645-85.

Значення мінімального припуску визначаємо за формулою:

$$2Z_{\min_i} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{(\rho_{i-1})^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (3.18)$$

де  $Rz_{i-1}$  – шорсткість, досягнута на попередньому переході;

$T_{i-1}$  – глибина дефектного шару, отримана на попередньому переході;

$\rho_{i-1}$  – просторове відхилення заготовки, отримане на попередньому переході;

$\varepsilon_i$  – похибка встановлення, на даному переході.

Заготовка масою 3,26 кг виготовлена методом радіального обтискування за 11-12 квалітетом точності.

Технологічний маршрут оброблення поверхні  $\varnothing 55$  складається з таких переходів: обточування одноразове, шліфування попереднє, шліфування кінцеве.

Обчислення припусків на обробку поверхні  $\varnothing 55 (\pm 0,0065)$ .

Значення Rz і T вибираємо за табл. 21 [2]

Сумарне значення просторових відхилень:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{(\rho_{\text{жол.}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2)}. \quad (3.19)$$

де  $\rho_{\text{жол.}}$  – жолоблення заготовки, мкм,

$\rho_{\text{зм}}$  – зміщення заготовки, мкм.

Жолоблення ступені вала слід урахувувати, як у діаметральному, так й в осьовому її січенні:

$$\rho_{\text{кор}} = \sqrt{(\Delta_{\text{к}} \cdot d)^2 + (\Delta_{\text{к}} \cdot l)^2}, \quad (3.20)$$

де  $\Delta_{\text{к}}$  – питома кривизна заготовки;

$d, l$  – діаметр та довжина ступені, яка обробляється.

Зміщення  $\rho_{\text{зм}}$  ступені приймаємо рівним допуску на розмір від осі оброблюваної ступені до поверхні базової площини, тобто:

$$\rho_{\text{зм}} = \delta_{\text{А}}$$

Просторове відхилення по переходах приймаємо рівне:

- обточування одноразове – 6% від  $\rho_{\text{заг}}$ ;
- шліфування попереднє – 4%;
- шліфування тонке – 1,5%.

$$\rho_{\text{кор}} = \sqrt{((0.05 \cdot 55)^2 + (0.05 \cdot 44)^2)} = 4 \text{ мкм}; \quad \rho_{\text{зм}} = 120 \text{ мкм};$$

Тоді 
$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{(4^2 + 120^2)} = 121 \text{ мкм};$$

Похибку встановлення приймаємо рівною:

$$\varepsilon = \sqrt{(\varepsilon_6^2 + \varepsilon_{\text{закр}}^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2)},$$

де  $\varepsilon_6$  – похибка при базуванні,

$\varepsilon_{\text{закр}}$  – похибка при закріпленні,

$\varepsilon_{\text{пр}}$  – похибка пристрою.

При використанні самоцентрувальної оправки (цангової чи гідропластової)  $\varepsilon_6 = 0$ .

Похибка закріплення рівна:

$$\varepsilon_{\text{закр}} = C \cdot Q^n \cdot \cos \alpha,$$

де  $C$  – коефіцієнт, який враховує умови контакту, матеріал і твердість поверхні.

$Q$  – сила, діюча на базуючі елементи і базові поверхні, Н,

$\alpha$  – кут між напрямом розміру, що витримується і напрямом найбільшого зміщення, тобто так як в даному випадку  $\alpha = 90^\circ$ , то  $\cos \alpha = 0$  і  $\varepsilon_{\text{закр}} = 0$ .

Згідно з табл. 11 [14], для обточування одноразового приймаємо  $\varepsilon_{\text{пр.1}} = 10$  мкм, для шліфування (попереднього і кінцевого) приймаємо  $\varepsilon_{\text{пр.2}} = \varepsilon_{\text{пр.3}} = 6$  мкм

Мінімальні припуски:

$$2Z_{\text{min}1} = 2 \cdot (50 + 30 + \sqrt{121^2 + 10^2}) = 2 \cdot 201 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\text{min}2} = 2 \cdot (25 + \sqrt{8^2 + 6^2}) = 2 \cdot 35 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\text{min}3} = 2 \cdot (5 + \sqrt{5^2 + 6^2}) = 2 \cdot 12 \text{ мкм}.$$

Розмір після останнього переходу:  $d_{p3} = d_{\text{min}} = 54.9935$  мкм.

Для інших переходів і заготовки приймаємо:  $d_{pi} = d_{pi+1} + 2z_{\text{min} i+1}$ .

Для попереднього шліфування:  $d_{p2} = 54.9935 + 2 \cdot 0,012 = 55.0175$  мм.

Для одноразового обточування:  $d_{p1} = 55.0175 + 2 \cdot 0,035 = 55.0875$  мм.

Для заготовки:  $d_{\text{пзаг}} = 55.0875 + 2 \cdot 0.201 = 55.4895$  мм.

Розміри допусків приймаємо рівними:

- для заготовки:  $\delta_{\text{заг.}} = 300$  мкм;
- для одноразового точіння:  $\delta_1 = 74$  мкм;
- для попереднього шліфування:  $\delta_2 = 22$  мкм;
- для кінцевого шліфування:  $\delta_3 = 13$  мкм.

Максимальні розміри:

$$d_{\text{max } i} = d_{\text{min } i} + \delta_i,$$

де  $d_{\text{min } i}$  – мінімальні розміри по переходах, які приймаємо рівними розрахунковим розмірам, заокругленим до 0,01 мм.

$$d_{\text{max заг}} = 55.49 + 0.300 = 55.79 \text{ мм}; \quad d_{\text{max } 2} = 55.02 + 0,022 = 55.04 \text{ мм};$$

$$d_{\text{max } 1} = 55.09 + 0,074 = 55.16 \text{ мм}; \quad d_{\text{max } 3} = 54.99 + 0,013 = 55.00 \text{ мм}.$$

Граничні припуски  $2Z_{\text{min}}^{\text{IP}}$  і  $2Z_{\text{max}}^{\text{IP}}$ :

$$2Z_{\text{min}}^{\text{IP}} = d_{\text{min } i-1} - d_{\text{min } i}; \quad 2Z_{\text{min } 2}^{\text{IP}} = 55.09 - 55.02 = 0,05;$$

$$2Z_{\text{max}}^{\text{IP}} = d_{\text{max } i-1} - d_{\text{max } i}; \quad 2Z_{\text{max } 2}^{\text{IP}} = 55.16 - 55.04 = 0,12;$$

$$2Z_{\text{min } 1}^{\text{IP}} = 55.49 - 55.09 = 0,40; \quad 2Z_{\text{min } 3}^{\text{IP}} = 55.02 - 54.99 = 0,03;$$

$$2Z_{\text{max } 1}^{\text{IP}} = 55.79 - 55.16 = 0,63; \quad 2Z_{\text{max } 3}^{\text{IP}} = 55.04 - 55.00 = 0,04;$$

$$2Z_{\text{min } \Sigma}^{\text{IP}} = \sum 2Z_{\text{min } i}^{\text{IP}} = 0,48 \quad 2Z_{\text{max } \Sigma}^{\text{IP}} = \sum 2Z_{\text{max } i}^{\text{IP}} = 0,79.$$

Перевірка правильності розрахунку:

$$2Z_{\text{max } 2}^{\text{IP}} - 2Z_{\text{min } 2}^{\text{IP}} = \delta_{\text{заг.}} - \delta_1;$$

$$0,63 - 0,40 = 0,3 - 0,074; \quad 0,23 = 0,226.$$

Номинальний розрахунковий припуск:

$$2Z_{\text{ном}} = 2Z_{\text{min } \Sigma}^{\text{IP}} + ES_{\text{заг}} - ES_{\text{дет}};$$

$$2Z_{\text{ном}} = 0,48 + 0,15 - 0,0065 = 0,62 \text{ мм}.$$

Номинальний розмір заготовки:

$$d_{\text{загот.ном.}} = d_{\text{дет.ном.}} + 2Z_{\text{ном}} = 55 + 0,62 = 55,62 \text{ мм}.$$

Перевірка правильності розрахунків. Умова виконується.

Результати розрахунку заносимо в табл. 3.6, додаток А.

Графічне зображення припусків та допусків на обробку поверхні  $\varnothing 55$  представлено на схемі (рис. 3.3).

Значення припусків на механічну обробку, основних розмірів заготовки і їх відхилень визначених табличним способом, зводимо в табл. 3.7, додаток А.

На поверхні, які не вказані в табл. 3.6 призначаємо напуски.

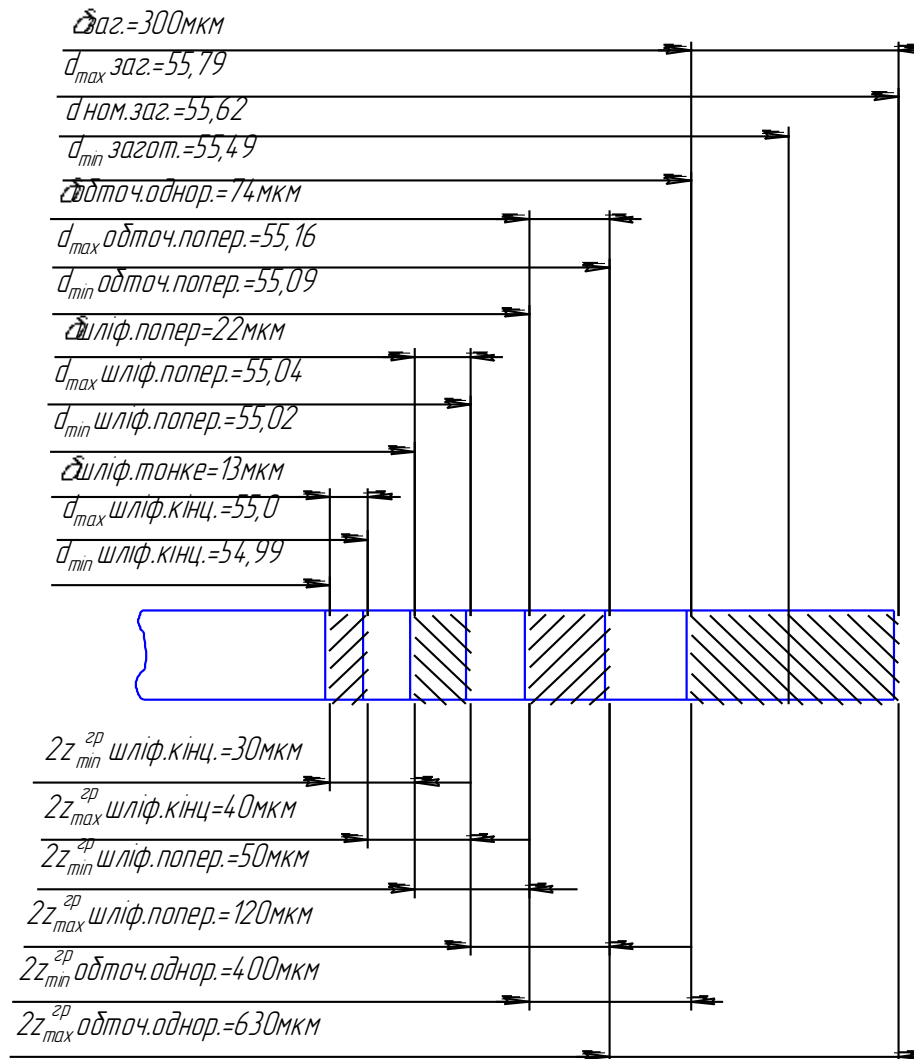


Рисунок 3.3 – Схема розташування припусків та допусків на оброблення поверхні  $\varnothing 55$

### 3.2.6 Вибір різального, вимірювального та допоміжного інструменту

У відповідності з даним стандартом, вибір засобів контролю базується на дотриманні заданих показників при контролі і аналізі затрат на його реалізацію.

Окремі операції контролю:

1. Вхідний контроль - заготовка деталі перевіряється на дотримання технічних умов, викладених у кресленні заготовки. Проводиться візуально.

2. Вихідний контроль - деталь перевіряється у відповідності з технічними вимогами. Проводиться вибірково - контролюється одна з 10 деталей.

Крім того, в процесі оброблення деталі контроль здійснюється робітником.

Найбільший вплив на відхилення від заданих розмірів має похибка несуміщення баз заготовки. Похибка закріплення практично відсутня, так як використовуються автоматизовані пневматичні затискачі. Статичне настроювання верстата здійснюється з достатньою точністю з допомогою вимірювальних засобів. Похибка динамічного настроювання невелика, так як всі верстати через свої відносно невеликі габарити мають високу жорсткість, короткі розмірні і кінематичні ланцюги.

Враховуючи все, вище сказане, для операційного контролю доцільно застосовувати наступні засоби: калібр-пробки гладкі ГОСТ 14.812-75; калібр-пробки різеві; зразки шорсткості ГОСТ 9378-75; спеціальні шаблони.

### **3.2.7 Визначення режимів оброблення**

Розрахунок режимів різання і вибір верстата аналітичним способом покажемо на прикладі операції 010 – токарно-копіювальній.

Операція 010 – токарно-копіювальна.

Поздовжній супорт. Точити поверхні 9, 10.

1. Характер оброблення – чорновий.

2. Інструмент – різець токарний упорний прохідний ГОСТ 18879-73, оснащений пластиною з твердого сплаву Т15К6 ГОСТ 25426-82. Геометричні параметри різця:  $\varphi = 90$ ,  $\gamma = 0$ ,  $r = 1,0$  мм.

3. Максимальна величина оброблення  $B = 350$  мм.

4. Максимальна глибина різання  $t = (66,45 - 64,25) / 2 = 1,1$  мм.

5. Подача  $S = 0,4$  мм, згідно з табл. 11, ст. 266 [15].

6. Середнє значення стійкості різця  $T = 60$  хв.

### 7. Швидкість різання:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot k_v, \quad (3.21)$$

де  $C_v, m, x, y$  – коефіцієнти, які залежать від заданих умов роботи.

$k_v$  – узагальнений коефіцієнт

$$k_v = k_{mv} \cdot k_{pv} \cdot k_{iv}. \quad (3.22)$$

Згідно з табл. 2, 5, 6, ст. 261–262 [15], приймаємо:

$$k_{mv} = \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 1,0 \left( \frac{750}{980} \right)^{1,0} = 0,76.$$

Згідно з табл. 5, табл. 6, ст. 263, [15],  $k_{mv} = 1,0$ ;  $k_{iv} = 1,4$

$$k_v = 0,76 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,61;$$

Тоді 
$$V = \frac{350}{60^{0,20} \cdot 1,1^{0,15} \cdot 0,4^{0,35}} \cdot 0,61 = 127,9 \text{ м/хв.}$$

### 8. Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 127,9}{3,14 \cdot 64,25} = 633,60 \text{ хв}^{-1}.$$

Приймаємо  $n = 630 \text{ хв}^{-1}$

### 9. Сила різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot k_p. \quad (3.23)$$

Згідно з табл. 1, 2 ст. 261-262 та табл. 41, ст. 291 [15], приймаємо:

$C_p = 300$ ;  $x = 1,0$ ;  $y = 0,75$ ;  $n = -0,15$ .

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,1^{1,0} \cdot 0,4^{0,75} \cdot 127,9^{-0,15} \cdot 1,01 = 809,7 \text{ (Н)}.$$

### 10. Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60 \cdot \eta} = \frac{6890 \cdot 127,9}{1020 \cdot 60 \cdot 0,85} = 1,99 \text{ кВт} \quad (3.24)$$

Вибираємо токарно-копіювальний напівавтомат мод. 1712 з потужністю головного приводу 14,5 кВт.

Уточнюємо режими різання, згідно з паспортними характеристиками вибраного верстату:

Приймаємо  $n = 630 \text{ хв}^{-1}$ .



Швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 64,25 \cdot 630}{1000} = 127,16 \text{ м/хв.}$$

Подача  $S_{xв} = 0,385 \text{ мм/об.}$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,1^{1,0} \cdot 0,385^{0,75} \cdot 127,16^{-0,15} \cdot 1,01 = 787,55 \text{ (Н);}$$

$$N = \frac{787,55 \cdot 127,16}{1020 \cdot 60 \cdot 0,85} = 1,93 \text{ кВт.}$$

Для інших операцій режими різання зводимо в табл. 3.8, додаток А.

### 3.2.8 Визначення технічних норм часу.

У великосерійному виробництві визначається штучна норма часу  $T_{шт.}$ :

$$T_{шт.} = T_{осн.} + T_{доп.} + T_{об.} + T_{в.}, \quad (3.25)$$

де  $T_{осн.}$  – основний час;

$T_{доп.}$  – допоміжний час;

$T_{об.}$  – час на обслуговування робочого місця;

$T_{в.}$  – час на відпочинок і природні потреби.

$$T_{доп.} = T_{в.з.} + T_{з.в.} + T_{к.} + T_{вим} \quad (3.26)$$

де  $T_{в.з.}$  – час на встановлення заготовки й знімання обробленої деталі;

$T_{з.в.}$  – час на закріплення заготовки та відкріплення обробленої деталі;

$T_{к.}$  – час на прийоми керування верстатом;

$T_{вим}$  – час на вимірювання.

Сумарний час для обслуговування робочого місця й на відпочинок, згідно з додатком 5 [7] приймаємо рівним 9% від  $T_{оп.}$

$$T_{об.} + T_{в.} = 0,09 T_{оп.},$$

де операційний час -  $T_{оп.} = T_{осн.} + T_{доп.}$

Нормування ТП покажемо на прикладі операції 005.

Операція 005 – токарно-копіювальна.

Поздовжній супорт.

Розточити отв. 24, розточити торець 32, розточити отв. 22.

Основний час оброблення, згідно з табл. 1, ст. 610 [8]:

$$T_{\text{осн}} = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{350 \cdot 1}{0.315 \cdot 630} = 1,76 \text{ хв}$$

Допоміжний час  $T_{\text{доп.}}$  :

$$T_{\text{доп.}} = 0,52 + 0,10 + 0,34 + 0,12 = 1,08 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{оп.}} = T_{\text{осн.}} + T_{\text{доп.}} = 1,76 + 1,08 = 2,84 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця й час на відпочинок та природні потреби

$$T_{\text{об.}} + T_{\text{в.}} = 0,09 \cdot 2,84 = 0,26 \text{ хв.}$$

Тоді штучний час:  $T_{\text{шт.}} = 2,84 + 0,26 = 3,10 \text{ хв.}$

Всі інші операції розраховуються аналогічно. Результати розрахунків заносимо в табл. 3.9, додаток А.

### **3.3. Визначення кількості обладнання. Розроблення планів компонування цеху та розміщення обладнання на ділянці.**

#### **3.3.1 Визначення кількості обладнання, побудова графіків завантаження і використання обладнання**

Основними даними для розрахунку кількості основного обладнання є працемісткість і річна програма виготовлення деталі.

Необхідну кількість основного технологічного обладнання визначають за формулою:

$$C_{\text{р.}} = \frac{T_{\text{шт.}} \cdot N}{60 \Phi_{\text{д.}}} \quad (3.27)$$

де  $C_{\text{р.}}$  – розрахункова кількість верстатів, необхідна для виконання річної програми на даній операції;

Для аналізу ступеня використання виробничого обладнання визначаємо коефіцієнт його завантаження  $\eta_{\text{з.факт.}}$  :

$$\eta_{\text{з.факт.}} = \frac{C_{\text{р.}}}{C_{\text{пр.}}} \quad (3.28)$$

де  $C_{\text{пр.}}$  – прийнята кількість верстатів для виконання річної програми.

Для уточнення типу виробництва використовуємо коефіцієнт закріплення операцій  $K_{з.о}$

Всі розрахунки зводимо у табл. 3.10, додаток А.

Оскільки фактичний коефіцієнт завантаження є значно меншим за нормативний, об'єднаємо однойменні операції, які виконуються на однаковому устаткуванні. Уточнені розрахунки зведені у табл. 3.11, додаток А.

Згідно з табл. 3.11:

$$K_{з.о} = \frac{138}{7} = 19,7.$$

Оскільки  $K_{з.о}$  знаходиться в межах  $10 \leq K_{з.о} \leq 20$ , то маємо середньосерійний тип виробництва.

Для уточнення організаційної форми виробництва користуємося коефіцієнтом потоковості  $R$  за формулою (3.5). Такт випуску, згідно з формулою (3.6), рівний 162,2 хв. Середній штучний час на операції:

$$T_{шт.с.} = \frac{31,34}{7} = 4,48 \text{ хв.}$$

$$R = \frac{4,48}{59,78} = 0,075.$$

Оскільки  $R < 0,6$ , то маємо групову форму організації виробництва.

Попередньо підраховуємо розмір партії запуску  $\Pi_о$ . Добове завдання:

$$\Pi_{д.} = \frac{N}{\Phi_{д.дн.}},$$

$$\Pi_{д.} = \frac{4000}{254} = 15,75.$$

Приймаємо  $\Pi_о = 16 \text{ дет.}$

Розмір партії деталей:

$$\Pi_о = \Pi_д \cdot a = 16 \cdot 6 = 96 \text{ дет.},$$

де  $a = 6$  - періодичність запуску партії у днях.

Знаходимо кількість змін  $Z_o$ , необхідних для оброблення партії деталей

$P_o$ :

$$Z_o = \frac{T_{\text{шт. с.}} \cdot P_o}{F_{\text{доб.}} \cdot \eta_{\text{з.норм.}}} = \frac{4,48 \cdot 96}{476 \cdot 0,85} = 1,06,$$

де  $F_{\text{доб.}} = 476$ .

Приймаємо  $Z_{\phi} = 2$  зміни

Розраховуємо фактичну кількість деталей у партії:

$$P_{\phi} = \frac{F_{\text{доб.}} \cdot \eta_{\text{з.норм.}}}{T_{\text{шт. с.}}} \cdot Z_{\phi} = \frac{476 \cdot 0,85}{4,48} \cdot 2 = 180,6 \text{ дет.}$$

Приймаємо  $P_{\phi} = 180 \text{ дет.}$

### 3.3.2 Розроблення компоновочного плану дільниці та плану розміщення обладнання.

#### 3.3.2.1 Укрупнений розрахунок необхідної кількості виробничого персоналу.

а) Кількість основних робітників  $P_{\text{осн.}}$  приймаємо за кількістю одиниць основного технологічного обладнання з врахуванням двозмінного режиму роботи:

$$P_{\text{осн.}} = 2C_{\text{пр.}} = 2 \cdot 7 = 14 \text{ чол.} \quad (3.29)$$

б) Кількість допоміжних робітників  $P_{\text{доп.}}$  приймаємо, згідно з [5].

$$P_{\text{доп.}} = (0,35 \dots 0,50) P_{\text{осн.}}; \quad (3.30)$$

$$P_{\text{доп.}} = (0,35 \dots 0,50) \cdot 14 = (4,9 \dots 7) \text{ чол.}$$

Приймаємо  $P_{\text{доп.}} = 6 \text{ чол.}$

в) Кількість інженерно-технічних працівників, згідно з [5]:

$$P_{\text{инн}} = (0,10 \dots 0,15) P_{\text{осн.}} \quad (3.31)$$

$$P_{\text{инн}} = (0,10 \dots 0,15) \cdot 14 = (1,4 \dots 2,1) \text{ чол.}$$

Приймаємо  $P_{\text{инн}} = 2 \text{ чол.}$

г) Кількість рахувально-конторського персоналу, згідно з [17]:

$$P_{ркп} = (0,03...0,04) P_{осн.} \quad (3.32)$$

$$P_{ркп} = (0,03...0,04) 14 = (0,42...0,56) \text{ чол.}$$

Приймаємо  $P_{ркп} = 1 \text{ чол.}$

д) Кількість молодшого обслуговуючого персоналу:

$$P_{мон} = (0,02...0,04) P_{осн.} \quad (3.33)$$

$$P_{мон} = (0,02...0,04) 14 = (0,28...0,56) \text{ чол.}$$

Приймаємо  $P_{мон} = 1 \text{ чол.}$

е) Загальна кількість виробничого персоналу:

$$P_{заг.} = P_{осн.} + P_{дон.} + P_{имп} + P_{ркп} + P_{мон} \quad (3.34)$$

$$P_{заг.} = 14 + 6 + 2 + 1 + 1 = 24.$$

### 3.3.2.2 Розрахунок площі дільниці.

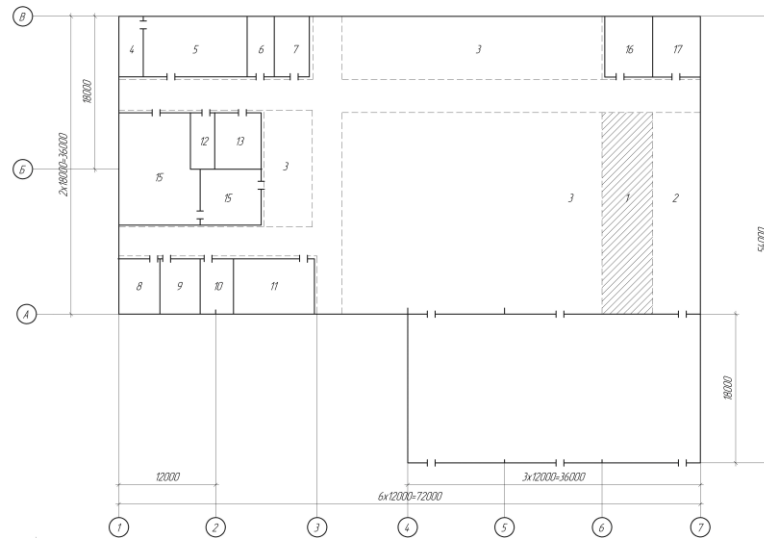
У склад дільниці, крім основного технологічного устаткування, входять також допоміжні робочі місця – контрольний стіл, слюсарний верстак, а також майданчики для складування заготовок та готових деталей.

Згідно з табл. 17 [17], приймаємо виробничу питому площу на один верстат  $S_{пит.в.} = 20 \text{ м}^2 / \text{верстат}$ . Тоді площа, яку займає основне технологічне устаткування буде складати:

$$S_1 = 7 \times 20 = 140 \text{ м}^2.$$

Згідно з табл. 32 [17], приймаємо виробничу питому площу на одне допоміжне робоче місце  $12 \text{ м}^2$ :

$$S_1 = 2 \times 12 = 24 \text{ м}^2.$$



Цифрами на плані позначено:

- |  |   |
|--|---|
| 1 Дільниця мех. оброб. валу втулки ( $S=144 \text{ м}^2$ ) | 10 Комора абразивів ( $S=30 \text{ м}^2$ )                |
| 2 Дільн. мех. оброб. інших деталей ( $S=120 \text{ м}^2$ ) | 11 Відділен для перероб стружки ( $S=75 \text{ м}^2$ )    |
| 3 Дільн. мех. оброб. інших деталей ( $S=766 \text{ м}^2$ ) | 12 Комора для матеріал і заготовок ( $S=15 \text{ м}^2$ ) |
| 4 Комора пристроїв ( $S=15 \text{ м}^2$ )                  | 13 Комора допоміжних матеріалів ( $S=30 \text{ м}^2$ )    |
| 5 Майстерня ремонту пристр й інстр ( $S=130 \text{ м}^2$ ) | 14 Майстерня енергетика цеху ( $S=21 \text{ м}^2$ )       |
| 6. Інструментальн-роздавальн комора ( $S=20 \text{ м}^2$ ) | 15 Ремонтна база механіка цеху ( $S=126 \text{ м}^2$ )    |
| 7 Заточувальне відділення ( $S=35 \text{ м}^2$ )           | 16 Контрольне відділення ( $S=60 \text{ м}^2$ )           |
| 8 Комора мастил ( $S=40 \text{ м}^2$ )                     | 17 Проміжна комора ( $S=10 \text{ м}^2$ )                 |
| 9 Відділення для приготування МОР ( $S=40 \text{ м}^2$ )   | 18 Адмін-побутові приміщення ( $S=648 \text{ м}^2$ )      |

Рисунок 3.3 – Компонувальний план цеху.

Площу майданчиків для складування заготовок та готових деталей, згідно з табл. 41а [17], приймаємо рівною 17 і 22  $\text{м}^2$  відповідно..

Загальна площа дільниці:

$$S_{\text{заг.}} = \sum S_i = 203 \text{ м}^2. \quad (3.35)$$

Площу адміністративно-побутових приміщень дільниці укрупнено визначаємо за формулою:

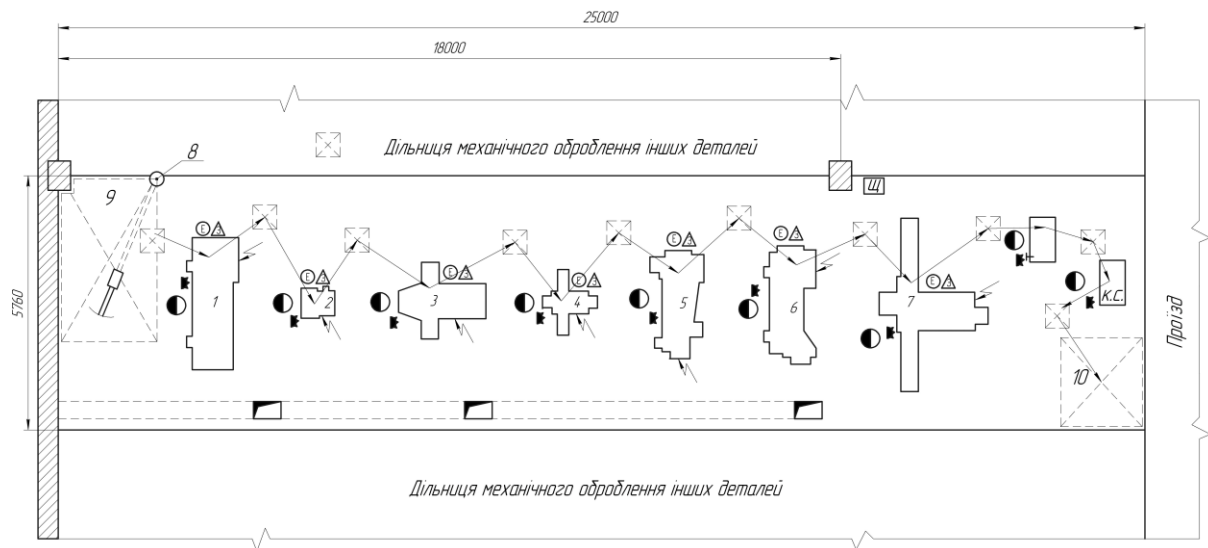
$$S = f \times n, \quad (3.36)$$

де  $f$  – питома площа на одного працюючого,

$n$  – кількість працюючих/

$$S = 3,2 \cdot 24 = 76,8 \text{ м}^2.$$

Приймаємо  $S = 76 \text{ м}^2$ .



Цифрами на плані позначено:

- 1 Токарно-копіювальний верстат мод. 1712
- 2 Вертикально-свердлильний верстат мод. 2Н125
- 3 Вертикально-фрезерний верстат мод. 6Т104
- 4 Горизонтально-фрезерний верстат мод. 6Н804Г
- 5 Довбальний верстат мод. 7А420М
- 6 Внутрішньо-шліфувальний верстат мод. 3А240
- 7 Кругло-шліфувальний верстат мод. 3М152
- 8 Консольно-поворотний кран
- 9 Майданчик для складання заготовок
- 10 Майданчик для складання готових деталей

Умовні позначення:

- маршрут оброблення деталі
- підвід електроенергії (380 В)
- підвід стисненого повітря (3 атм.)
- підвід емульсії
- місцеве освітлення
- силовий щит
- стружкопередавальний канал з приймальним лотком
- контейнер для заготовок
- контрольний стіл
- слюсарний верстак

Рисунок 3.4 – План розміщення обладнання на дільниці.

### 3.4 Конструювання спеціального оснащення, інструментів

#### 3.4.1 Пристрій для фрезерування шпонкового пазу 8 N9

##### 3.4.1.1 Службове призначення пристрою, формування технічних вимог

Згідно з розрахунками тип виробництва – великосерійний і тому виникає необхідність у проектуванні спеціальних верстатних пристроїв.

Даний пристрій використовується для оброблення шпонкового пазу 8N9.

Оптимальною буде схема базування, при якій заготовка забезпечується за рахунок використання технологічного отвору  $\varnothing 12$ . В якості приводу доцільно

використати пневмоциліндр чи пневмокамеру. Такі приводи мають просту конструкцію, серійно виготовляються і тому мають невисоку собівартість це значно здешевить процес виготовлення самого пристрою.

Точність, що забезпечується даним пристроєм, повинна бути не нижчою, ніж допуск на розмір від базової до оброблюваної поверхні – 0,2 мкм.

### **3.4.1.2 Розроблення та вибір раціональної схеми компоновки пристрою**

При виборі схеми компоновки пристрою необхідно забезпечити такі умови:

1) заготовка повинна займати стійке положення до прикладання сили затиску;

2) в процесі закріплення заготовки не повинно бути порушене надане їй при встановленні положення;

3) сили, які виникають в процесі різання, не повинні зміщувати заготовку.

Для вибору раціональної компоновки розглянемо декілька схем (рис. 3.1).

Аналіз компоновок конструктивних схем:

$$K_{\Sigma n} = 0,5K_1 + 0,35K_2 - 0,1K_3 - 0,1K_4 + 0,05K_5, \quad (3.37)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт підсилення;

$K_2$  – коефіцієнт, який залежить від наявності властивості самогальмування;

$K_3$  – коефіцієнт, який залежить від к-сті передавальних ланок;

$K_4$  – коефіцієнт, який залежить від наявності проміжної ланки;

$K_5$  – коефіцієнт, який залежить від компактності пристрою.

Результати розрахунків заносимо у табл. 3.11.

Виходячи з критеріїв оцінки компоновочних схем, вибираємо схему 3, як таку, що має найбільший коефіцієнт ваги.



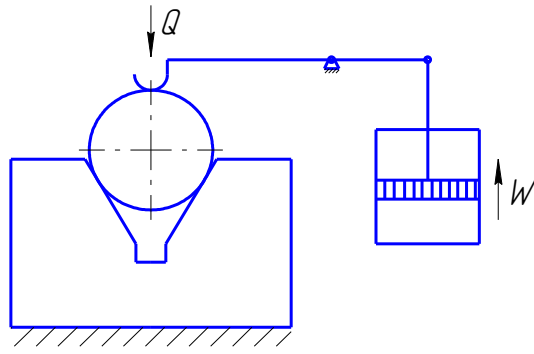


Схема1

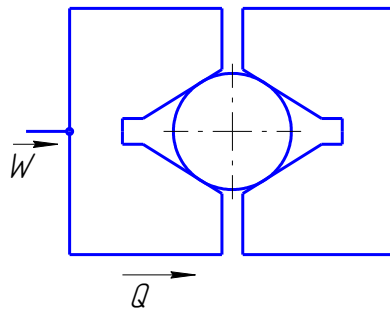


Схема2

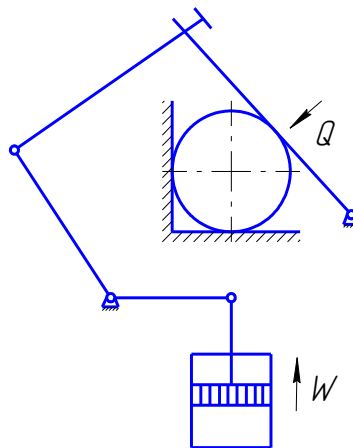


Схема3

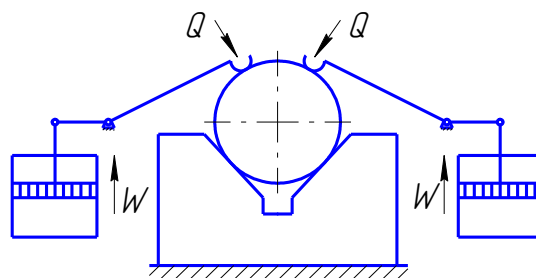


Схема4

Рисунок 3.11 – Можливі компоновки пристрою для фрезерування шпонкового пазу 8N9.

Таблиця 3.11 – Встановлення раціональної схеми компоновки пристрою.

Схема	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_{\Sigma n}$
1	1	1	1	1	2	0,75
2	0	0	1	0	3	0,05
3	3	2	3	2	1	1,75
4	2	1	3	2	0	0,85

### 3.4.1.3 Розрахунки пристрою на точність

На точність оброблення впливає ряд факторів, яку викликають сумарну похибку  $\Delta_{\Sigma}$ :

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{(K_1 \Delta \varepsilon_y)^2 + (K_2 \Delta_y)^2 + (K_3 \Delta_H)^2 + (K_4 \Delta_i)^2 + (K_5 \Sigma \Delta_B)^2 + (K_1 \Sigma \Delta_t)^2}, \quad (3.38)$$

1. Похибка встановлення:

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{б.}^2 + \varepsilon_{з.}^2 + \varepsilon_{пр.}^2}, \quad (3.39)$$

1.1. Похибка базування  $\varepsilon_{б.} = 0$ , оскільки конструкторські бази співпадають з технологічними.

1.2. Похибка закріплення  $\varepsilon_z = 0$ , тому, що даний пристрій передбачається удосконалити гідравлічним затискним механізмом, для того, щоб забезпечити постійність при силі затиску.

1.3. Похибка положення заготовки у пристрої  $\varepsilon_{пр.}$

$$\bar{\varepsilon}_{пр.} = \bar{\varepsilon}_B + \bar{\varepsilon}_{зн.} + \bar{\varepsilon}_{вст.} \quad (3.40)$$

Технологічні можливості виготовлення пристроїв забезпечують похибку  $\varepsilon_B$  в межах 10-15 мкм [14]. Приймаємо  $\varepsilon_B = 10$  мкм.

Величина зношення установчих елементів  $\varepsilon_{зн.}$ :

$$\varepsilon_{зн.} = \beta \cdot N^n, \quad (3.41)$$

$$\varepsilon_{зн.} = 0,06 \cdot 4000^{0,51} = 4,12 \text{ мкм.}$$

Похибка встановлення пристрою на верстаті буде =5 мкм [14]

Тоді:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = 3\sqrt{1/3 \cdot 4 \cdot 12^2 + 1/9 \cdot 5^2} + 10 = 18.71 \text{ мкм.}$$

2. Похибку оброблення заготовки  $\Delta_y$  приймаємо 15 мкм [14].

3. Похибку налагодження технологічної системи  $\Delta_H$

$$\Delta_H = \sqrt{(K_p \cdot \Delta_p)^2 + (K_{\text{вим.}} \cdot \Delta_{\text{вим.}})^2}, \quad (3.42)$$

$$\Delta_H = \sqrt{(1,14 \cdot 20)^2 + (1 \cdot 15)^2} = 27 \text{ мкм.}$$

4. Похибка, що виникає внаслідок зношення різального інструменту  $\Delta_i$ , згідно з [14], приймаємо 25 мкм.

5. Сумарну похибку верстата  $\Sigma\Delta_B$ , яка виникає внаслідок його зношення за період експлуатації, згідно з [14], приймаємо 8 мкм.

6. Сумарну температурну похибку  $\Sigma\Delta_t$ , приймаємо 10 ... 15% від  $\Delta_\Sigma$ .

Сумарна похибка (без врахування температурної похибки):

$$\Sigma\Delta_\Sigma = \frac{1}{0,683} \sqrt{(1,0 \cdot 20)^2 + (1,0 \cdot 15)^2 + (1,0 \cdot 27)^2 + (1,73 \cdot 25)^2 + (1,73 \cdot 8)^2} = 86 \text{ мкм.}$$

Загальна похибка:

$$\Delta_\Sigma = 1/0,683 \cdot \sqrt{(0,683 \cdot 86)^2 + (1,173 \cdot 15)^2} = 90 \text{ мкм.}$$

Мінімальний допуск на оброблення заданої поверхні, згідно з кресленням, становить 0,2 мм. Таким чином, умова  $\Delta_\Sigma \leq \text{ТА}$  виконується.

#### 3.4.1.4 Розрахунки сили затиску та параметрів силового приводу

Для забезпечення надійності сили затиску введемо коефіцієнти запасу К:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5, \quad (3.43)$$

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,15.$$

Необхідна сила затиску заготовки визначається з рис. 3.2.

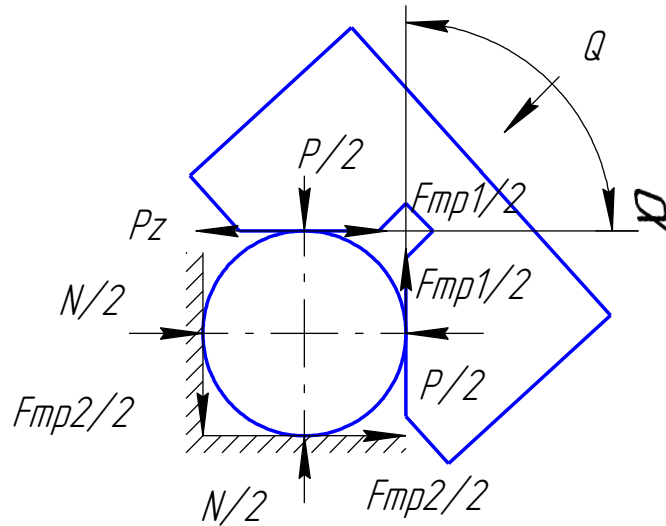


Рисунок 3.2 – Схема для розрахунку сили затиску.

Згідно з наведеною схемою:

$$K \cdot Pz = 2F \frac{F_{\text{тп1}}}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha/2} + 2 \cdot \frac{F_{\text{тп2}}}{2}. \quad (3.44)$$

Сили тертя можна представити:

$$\frac{F_{\text{тп1}}}{2} = \frac{P}{2} \cdot f_1; \quad \frac{F_{\text{тп2}}}{2} = \frac{N}{2} \cdot f_2.$$

При  $2 \frac{P}{2} = Q$  і  $2N = Q$ , отримаємо:

$$K \cdot Pz = Q \cdot f_1 \cdot \frac{1}{\sin \alpha/2} + Q \cdot f_2$$

$$Q = \frac{K \cdot Pz}{f_1 \cdot \frac{1}{\sin \alpha/2} + f_2}$$

Приймаємо  $f_1 = f_2 = f$ , кінцево отримаємо:

$$Q = \frac{K \cdot Pz \cdot \sin \alpha/2}{2f}, \quad (3.45)$$

де  $Pz$  – тангенціальна складова сили різання

$$Q = 2.15 \cdot 2082.2 \cdot \sin 90/2 / 2 \cdot 0.15 = 10551.54$$

Зусилля на штоці пневмоприводу верстатного пристосування визначаємо зі схеми зображеної на рис. 3.3.

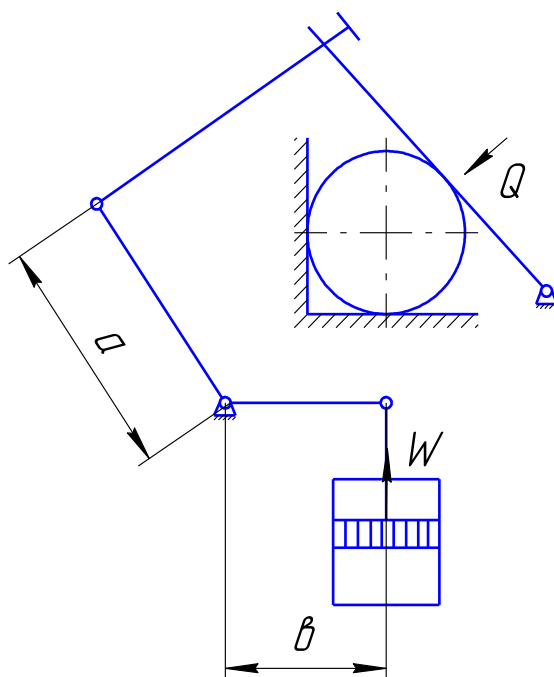


Рисунок 3.3 – Схема для визначення зусилля на штоці пневмоприводу верстатного пристосування.

Згідно з наведеною схемою:

$$W = Q \cdot \frac{a}{b} = 10551,5 \cdot \frac{30}{60} = 5275,8 \quad (3.46)$$

Діаметр мембрани пневмокамери:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot p \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5275,8}{\pi \cdot 0,63 \cdot 0,85}} = 112 \text{ мм,}$$

де  $p = 10,0 \text{ МПа}$  – тиск повітря в мембрані;

$\eta = 0,85$  – ККД гідроциліндра.

Приймаємо діаметр поршня рівним 120 мм.

### 3.4.1.5 Опис конструкції та роботи пристрою

Заготовка в процесі оброблення базується на опорних пластинах 23 і 24.

Кутове орієнтування забезпечується пальцем 22. Затиск здійснюється за допомогою вбудованої пневмокамери 25. При подачі повітря у нижню порожнину камери шток з приєднаною до нього вилкою 8 передає зусилля на

коромисло 4, через нього на відкидний болт 7 і далі на прихват 2. На прихват 2 встановлено плаваючу призму 3, що забезпечує, самоцентрування. Для того, щоб зняти оброблену детал, необхідно вручну відкинути болт 7 і прихват 2 з призмою.

### 3.4.2 Пристрій для свердління отв. Ø 12.

Даний пристрій використовується для свердління отвору на операції 020-вертикально-свердлильна.

Необхідна сила затиску визначається з умови (див. рис. 3.4):

$$k \cdot M = Q \cdot f_1 \cdot R + Q \cdot f_2 \cdot R \cdot \frac{1}{\sin \alpha/2}, \quad (3.47)$$

звідки

$$Q = \frac{k \cdot M}{R \cdot f_1 + \frac{R \cdot f_2}{\sin \alpha/2}}$$

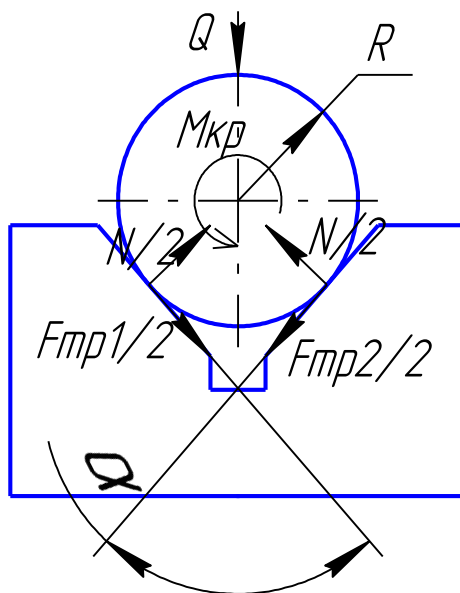


Рисунок 3.4 – Схема для визначення сили затиску.

При  $f_1 = f_2 = f$ , кінцево отримаємо

$$Q = \frac{k \cdot M}{R \cdot f \left( 1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right)}; \quad (3.48)$$

$$Q = \frac{1.5 \cdot 58240}{32.5 \cdot \left( 1 + \frac{1}{\sin \frac{90}{2}} \right)} = 5600 \text{Н.}$$

Зусилля на штоці пневмоприводу:

$$W = Q = 5600 \text{Н.}$$

Діаметр діафрагми пневмокамери:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 5600}{\pi \cdot 0,63 \cdot 0,85}} = 115,4 \text{мм}$$

Приймаємо  $D = 125 \text{мм}$ .

Заготовка встановлюється в на опорі призми 24 і 25 з базуванням по торцю. Зусилля затиску передається від штоку пневмокамери на фланець 10, який за допомогою скалок 4 опускає кондукторну плиту 3 на заготовку і притискає заготовку до опорних призм 24 і 25. Роз тиск обробленої деталі відбувається за рахунок дії стиснутої пружини 26.

### 3.4.3 Пристрій для контролю несиметричності шпонкового пазу

#### 3.4.3.1 Опис конструкції та роботи пристрою

Даний пристрій призначений для контролю допуску симетричності стінок шпонкового пазу 8 N9, який складає 0,03мм.

В процесі контролю вимірний наконечник 6 закріплений у кронштейні 2, вводиться у паз деталь. Контроль здійснюється за допомогою індикатора 9, вимірне зусилля на шток якого передається від валика 3. відхилення від симетричності визначають як різницю максимального і мінімального показів індикатора при вимірювання деталі з правого і лівого боків.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Характеристика ділянки механічного оброблення деталі з точки зору техніки безпеки**

#### **4.1.1 Внутрішнє планування ділянки з врахуванням вимог безпеки праці, санітарії та пожежних вимог**

Згідно завдання необхідно розробити ділянку механічного оброблення вала пустотілого 05.200.001. Для розроблення внутрішнього планування ділянки вихідними даними є: технологічний процес механічного оброблення деталі; номенклатура устаткування, його кількість та габарити, річна програма випуску.

Приміщення цеху, розміщення устаткування на ділянці проводиться, згідно з нормами та вимогами при проектуванні механічних цехів за СНиП –II–92-86 “Производственные помещения. Нормы проектирования”.

На ділянці механічного оброблення вала технологічне устаткування (верстати) розміщуються, згідно з технологічним процесом. Верстати встановлені в лінію, а по відношенню до проходу верстати розташовані під кутом. Ділянки, що зайняті верстатами є, по можливості, мінімальними. Відстані між верстатами та стінами і колонами приміщень вибираємо згідно з рекомендаціями ([17], табл. 24, ст.177). Відстані вибираються залежно від габаритів верстатів, які в середньому, становлять 2000×4000 мм.

#### **4.1.2. Санітарно-гігієнічні характеристики умов праці на ділянці та порівняння їх з нормативними значеннями вказаними у державних стандартах.**

Фізичні роботи на ділянці відносяться до робіт середньої категорії важкості 2-а, згідно з ГОСТ 12.1.005-88 “Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования”. Ця категорія характеризується



постійною ходою, переміщенням дрібних (вагою до 3 кг) виробів або предметів у стоячому положенні.

Для забезпечення нормальних метеорологічних умов в робочій зоні виробничих приміщень встановлено норми метеорологічних умов, які включено в санітарні норми проектування промислових підприємств. Норми враховують пору року, характер виробничого приміщення і ступінь важкості виконуваних робіт для створення нормальних умов праці (Додаток Б, табл. 4.1).

Характеристики освітлення, важливі для створення нормальних умов, задаються згідно з СНиП II-4-79 “Естественное и искусственное освещение”.

На характер зорової роботи найбільший вплив мають розміри об'єкту, розрізнення на контрольних операціях. Зважаючи на те, що маємо дрібносерійний тип виробництва, де основними засобами контролю є універсальний інструмент (штангенциркуль) та калібри (скоби, шаблони і контршаблони) для дільниці обробки корпусу розряду зорових робіт 4а. Характеристика штучного та природного освітлення подано в таблиці 4.2 (Додаток Б).

Джерелом шуму на виробничій дільниці є технологічне устаткування. Шум виникає в результаті пружних коливань звукових хвиль, що утворюються устаткуванням і окремими його частинами. Виробничий шум на дільниці відноситься до другого класу. Середня частота шуму складає 60-120 Гц, який виникає від устаткування неударної дії. Згідно з ГОСТ 12.1.003-83 “Шум. Общие требования безопасности”, рівень звуку на дільниці не повинен перевищувати 85 дБ. Допустимі норми рівня звуку наведені в табл. 4.3 (Додаток Б).

#### **4.1.3 Аналіз конструкції верстатів і пристроїв за умовами безпеки експлуатації.**

До основних технічних засобів, які забезпечують безпеку машин, верстатів і механізмів відносяться огорожувальні і запобіжні пристрої, сигналізація безпеки, дистанційне керування і спеціальні засоби технічної безпеки.

Частини верстатів і пристроїв, що рухаються і обертаються, створюють небезпеку для працюючих. Тому на верстатах встановлюють загороджувальні і захисні пристосування, які ізолюють робітника від рухомих і обертових частин пристосувань, вузлів та механізмів, місць відокремлення окремих частинок металу, небезпечних зон, які знаходяться під напругою.

На фрезерних верстатах, для захисту верстатника від відлітаючої стружки встановлюємо навколо фрез завісу з тонкого м'якого металевого дроту.

Розташування ручок керування розподільними кранами пристроїв спроектовано так, щоб забезпечити економію рухів, виключає незручні, вимушені, ненадійні положення тіла.

Пристрої, які використовуються на дільниці, мають пневматичні механізми затиску. Конструкції пристроїв створено так, щоб затискні елементи мали рух не більше 5 мм, згідно ГОСТ 12.2.029 – 88, що достатньо для встановлення і зняття деталі та не дозволяє защемити пальці робітника.

Усі пристрої повинні мати засоби захисту від саморозкриття при зменшенні тиску у пневмокамері у випадку аварії на лінії. У конструкції механізму пристрою на кран керування перемиканням напрямку подачі стиснутого повітря ставимо захисний клапан за ГОСТ 21324-83.

Для забезпечення загальної електробезпеки (в тому числі і замикання струму на корпус устаткування, до яких доторкається руками верстатник) використовується загальноцехове заземлення.

Запобіжні пристрої служать для попередження аварій і поломок окремих частинок устаткування і пов'язаної з цим небезпеки травмування робітників. Аварії і поломки можуть бути викликані перевантаженням устаткування або переходом його рухомих частин за встановлені границі, раптовим підвищенням тиску, збільшення швидкості руху, сили струму.

Для захисту електроустановок від надмірного підвищення сили струму служать плавкі запобіжники і автомати відключення. Для запобігання перевантаження устаткування застосовують зрізувані штифти (шпильки) пружньо-кулачкові та фрикційні муфти. Для попередження аварій і поломок

окремих частин устаткування, які можуть виникнути внаслідок переходу рухомих частин за встановлені межі, встановлюють односторонні й двосторонні обмежувачі ходу.

Сигналізація безпеки є засобом попередження працюючих про можливу небезпеку. До сигналізаційних пристроїв відносяться світло кольорові й звукові сигнали і різні показники рівня рідини, тиску, температури та ін.

#### 4.2 Розрахунок штучного освітлення дільниці.

Систему освітлення цеху вибираємо комбінованою. В якості джерела світла вибираємо люмінесцентну лампу ЛХБЦ-40 з такими параметрами: потужність – 40 Вт; світловий потік – 2000 лм; світлова віддача – 50.0 лм/Вт. Тип світильника - ПВЛМ 2×40 з габаритними розмірами  $V \times L \times H = 1325 \times 230 \times 180$  мм.

Розрахунок освітленості проводимо методом коефіцієнту використання світлового потоку.

Сумарний світловий потік, лм:

$$\Phi_{\text{сум}} = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot z}{\eta} \cdot 100 \quad (4.1)$$

де  $E_n$  – нормована освітленість, лк;

$S$  – площа приміщення, м кв.;

$k$  – коефіцієнт запасу (для люмінесцентних ламп 1.5 – 2.0);

$z$  – коефіцієнт мінімальної освітленості, який дорівнює відношенню середньої освітленості до мінімальної (приймаємо рівним 1.1 – 1.2);

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку практично освітлювальної системи, який залежить від розподілу сили світла світильника, показника приміщення  $I$ , коефіцієнтів відбиття стелі  $\rho_{\text{ст.}}$  (приймаємо рівним 50%), стін  $\rho_{\text{ст.}}$  (30%), робочої поверхні  $\rho_{\text{р.п.}}$  (10%)

Показник приміщення:

$$I = \frac{A \cdot B}{H \cdot (A + B)} \quad (4.2)$$

де  $A$  і  $B$  – відповідно довжина і ширина приміщення, м;

$H$  – висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

$$I = \frac{25 \cdot 5.76}{5,4 \cdot (25 + 5.760)} = 0.867$$

При  $\rho_c = 70\%$ ,  $\rho_{ст} = 50\%$ ,  $\rho_{р.л} = 10\%$ ,  $I = 4$ ,  $\eta = 6.1$ :

$$\Phi_{сум} = \frac{400 \cdot 144 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{6,1} \cdot 100 = 15580,33 \text{ лм}$$

Кількість ламп:

$$n = \frac{\Phi_{сум}}{\Phi_{л}} \quad (4.3)$$

де  $\Phi_{л}$  - світловий потік однієї лампи, лм.

$$n = \frac{15580.33}{2000} = 7.79$$

Приймаємо  $n = 8$

### **4.3 Заходи щодо захисту працюючих від шкідливих та вибухо-небезпечних речовин**

В основу розроблення заходів захисту робітників та службовців покладено вивчення факторів, які мають вплив на підготовлення об'єкту до роботи у надзвичайних ситуаціях (хімічне і радіаційне забруднення, землетруси тощо). Такими факторами є район розташування, внутрішнє планування та забудова території, система енергопостачання, технологічний процес, виробничі зв'язки, тощо.

При вивченні будівель та споруд дається характеристика будівель основного та допоміжного виробництва, вказується кількість робітників та службовців які одночасно знаходяться на території, наявність вбудованих сховищ.

При вивченні планування забудови важливим є густота та тип забудови. Особлива увага приділяється ділянкам, де можуть виникнути вторинні фактори ураження. Це місткості з паливно-мастильними матеріалами.

Сильнодіючі отруйні речовини бувають у вигляді рідин та газів.

Руйнування або пошкодження ємностей з вказаними речовинами є джерелами хімічного ураження. На підприємствах при розробленні заходів по захисту робітників та службовців від дії сильнодіючих отруйних та горючих речовин оцінюють такі параметри як вибухонебезпечність, надійність і безпека зберігання. Запас таких речовин повинен бути мінімально необхідним для нормальної роботи виробництва і на території не повинно бути надлишку поза необхідним мінімумом.

Заходи щодо захисту: Встановити необхідний мінімум запасів шкідливих та вибухонебезпечних речовин. Для їх зберігання організувати добре обладнані сховища, зайві запаси вивести на зберігання в заміську зону. Визначити можливість і розробити шляхи скорочення застосування у виробництві шкідливих і вибухонебезпечних речовин. Розробити способи та систему їх нейтралізації. Особовий склад працівників забезпечити засобами особистого захисту (фільтруючі промислові протигази марок К, М, КД, захисний одяг). Забезпечити надійну герметизацію стиків та з'єднань транспортних трубопроводів і ємностей для зберігання шкідливих і вибухонебезпечних речовин. В приміщеннях, де можливі отруєння, встановити автоматичні пристрої сигналізації та нейтралізації шкідливих і вибухонебезпечних речовин. Використання стійких, з підвищеною вогнестійкістю конструкцій при будівництві. Розміщення найбільш відповідальних вузлів у підземних спорудах. Створення засобів для безаварійного відключення систем, машин і агрегатів, пошкодження котрих може викликати додаткові вражаючі дії повторних факторів. Підвищення захисних можливостей приміщень і споруд відносно руйнуючих сил. Постійне утримання сховищ у належному стані.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі здійснено техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки. Обрана заготовка є більш економічна з точки зору використання матеріалу, порівняно дешева і вимагає меншої механічної обробки.

Дано характеристику для службового призначення й технічних вимог деталі.

Визначено тип й організаційну форму виробництва, вибрано та економічно обґрунтовано метод отримання заготовки, проведено структурний аналіз й синтез декількох варіантів ТП і встановлено найоптимальніший.

При розробці ТП встановлено усі необхідні розміри, проведено аналіз, вибрано необхідні режими різання, підібрано обладнання, інструмент та інше технологічне оснащення, встановлено контрольні, допоміжні й транспортні операції, а також було проведено нормування для технологічних операцій.

На основі запропонованих технологічних рішень розроблено раціональний ТП виготовлення деталі із заданою річною програми випуску, який дозволив зекономити основний та допоміжний час на його обробку.

Розроблено пристрої для: фрезерування шпонкового пазу, свердління отвору  $\varnothing 12$ , контролю симетричності шпонкового пазу, технологічні налагодження.

Розглянуто питання та заходи із ОП.

Розраховано економіку виробництва. Очікуваний економічний ефект при впровадженні розробленої технології та відповідних заходів і рекомендацій становить 18396,34 грн.

Розроблено комплект технологічної документації, згідно ГОСТ 3.1404-86 для даної деталі.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. – М.: Машиностроение, 1980.
2. Бабей Ю.И. Поверхностное упрочнение металлов / Ю.И. Бабей, Б.И. Бутаков, В.Г. Сысоев. – К.: Наукова думка, 1995. – 256 с.
3. Боженко Л.І. Технологія виробництва заготовок в машинобудуванні. – К.: УМК ВО, 1990. – 264 с.
4. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1979. – 303 с.
5. Егоров М.Е. Основы проектирования машиностроительных заводов. – М.: Высшая школа, 1969. – 480 с.
6. Канарчук В.Е., Токаренко В.М., Балабашов А.Н. Основы проектирования и реконструкции механических цехов и участков машиностроительных и ремонтных производств. – К.: Вища школа, 1988. – 224 с.
7. Карташов С.А. Технология машиностроения. К.: Вища школа, 1984. – 271 с.
8. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / Под ред. А.Ф. Горбачевича. – Минск: Высшая школа, 1983. – 256 с.
9. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / Под ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.
10. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени обслуживания рабочих мест и подготовительно-заключительное время для технического нормирования станочных работ. Крупносерийное производство. М.: Машиностроение, 1974. - 136 с.
11. Охрана труда в машиностроении / Под ред. Е.Я. Юдина. – М.: Машиностроение, 1983. – 432 с.
12. Расчеты экономической эффективности новой техники. Справочник / под ред. К.М. Великанова. – Л.: Машиностроение, 1990. – 448 с.

13. Режимы резания. Справочник / Под общ. ред. Ю.В. Барановского. М.: Машиностроение, 1973. – 407 с.
14. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. – К.: Вища школа, 1993. – 416 с.
15. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
16. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 389 с.
17. Фик Ю.М. Вдосконалення процесу виконання кільцевих канавок на циліндричних поверхнях методом обкатування / Ю.М. Фик , Д.Л. Радик // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей ІХ міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листопада 2020.). - Тернопіль : ТНТУ, 2020. – Ст.139.