

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти бакалавр
на тему: «Виготовлення ступінчастого валу редуктора циліндричного
двоступінчастого»

КРБ.133ГМбд_31[2].13.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за освітньо-
професійною програмою

Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва _____
назва ОПП

спеціальності 133 Галузеве
машинобудування _____
код та найменування спеціальності

ступеня вищої освіти «бакалавр» групи 1
Тищенко Віталій Володимирович _____
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти

Керівник: канд. техн. наук., доцент Басова
Юлія Олександрівна _____
Прізвище та ініціали керівника

Полтава – 2024 рік

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність модернізації виготовлення валів редуктора може залежати від кількох факторів. Серед цих факторів можна назвати наступні. Потреба в заміні чи покращенні, тобто якщо існуючий вал пошкоджений або застарілий, або ж існує потреба в підвищенні продуктивності або зниженні витрат енергії, виготовлення нового ступінчастого валу може бути актуальним.

Технічні вимоги полягають у тому, що якщо конструкційні вимоги до редуктора змінилися (наприклад, зміна потужності, швидкості, навантаження тощо), може бути необхідно виготовлення нового валу, щоб відповідати цим вимогам.

Модернізація передбачає виготовлення нових деталей для редуктора, які є частиною процесу модернізації обладнання. Це може включати заміну застарілих частин на більш продуктивні або ефективні.

Економічні обставини доцільні, якщо виготовлення нового валу може бути економічно обґрунтованим в порівнянні з покупкою нового редуктора або ремонтом існуючого.

Враховуючи ці фактори, можна зробити висновок про актуальність даної робота щодо модернізації ступінчастого валу редуктора циліндричного двоступінчастого.

Зважаючи на важливість зазначених проблем метою дослідження розробка маршруту виготовлення ступінчастого валу.

Для досягнення мети були виконані наступні завдання:

- проаналізувати службове призначення вузла, здійснити аналіз точності, охарактеризувати конструкційні матеріали, що застосовуються для виготовлення валу ступінчастого для редуктора;
- визначити та розробити технологічний процес та маршрут виготовлення валу ступінчастого;
- сконструювати технологічне оснащення та здійснити його розрахунок;

– визначити економічну ефективність, розглянути вимоги охорони праці та захисту навколишнього середовища при конструюванні валу.

Об'єкт дослідження є процес виготовлення ступінчастого валу.

Предмет дослідження – розробка технологічних операцій виготовлення ступінчастого валу редуктора циліндричного двоступінчастого.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

1.1. Загальні відомості про вали

Двоступінчастий циліндричний редуктор складається з двоступінчастої зубчастої передачі, що є двома парами циліндричних коліс (рис 1.1).

Рисунок 1.1 – Конструкція редуктора

Вал (16) – деталь, що обертається навколо своєї осі, призначена для передачі руху зв'язаним з нею частинам машини чи механізму, складовою яких вона є. При цьому вал передає крутний момент вздовж своєї осі та забезпечує підтримання обертових деталей машин, котрі на ньому розміщені. Крутні моменти передаються за допомогою сил, що діють на вали з боку механічних передач (наприклад, у

зачепленні зубчастих або черв'ячних передач, натягу приводних пасів тощо). Тому на вали діють також згинальні моменти і осьові навантаження.

За конструктивним виконанням вали поділяються на: гладкі; ступінчасті; порожнисті; вал-шестерня. Найпоширенішими є прямі вали. Вони застосовуються в редукторах, металорізальних верстатах, підйомно-транспортних машинах, машинах легкої промисловості тощо.

Вали в основному виготовляють з сталей:

- вуглецевих 20, 30, 40, 45, 50;
- легованих 20Х, 40ХН, 30ХГСА, 40ХН2МА, 18Х2Н4МА і ін.

Вибір матеріалу визначається конструкцією вала, вимогами до нього, що пред'являються умовами експлуатації, необхідним терміном гарантії безвідмовної роботи.

Для поліпшення механічних характеристик застосовують різні види термообробки, в тому числі поверхневе зміцнення для підвищення зносостійкості.

1.2. Будова та конструктивні елементи валу ступінчастого

Найбільш поширена форма валів – ступінчаста (рисунок 1.1). Така форма валу спрощує складання (за рахунок вільного пересування деталей вздовж валу) і дозволяє більш раціонально використовувати метал за рахунок зменшення розмірів менш навантажених ділянок, забезпечуючи принципову можливість створення рівномірних конструкцій.

Рисунок 1.1 – Приклади ступінчастих валів

В конструкції ступінчастого вала умовно виділяють наступні елементи: кінцеві ділянки; ділянки переходу від одного ступеня до іншого; місця посадки підшипників, ущільнень і деталей, що передають момент обертання. Кожен елемент має свою назву (рис. 1.2)

Рисунок 1.2 – Основні елементи ступінчастого вала

Цапфа (Ц) - ділянка валу (осі), яким він спирається на підшипник. Шипом називається цапфа, розташована на кінці валу (осі) і призначена для сприйняття, в основному, радіального навантаження.

П'ятою називається цапфа, розташована на кінці валу (осі) і призначена для сприйняття, в основному, осьового навантаження.

Шийкою називається проміжна цапфа, розташована в середній частині вала (осі).

Заплічник (З) - перехідна торцева поверхня від одного перерізу валу (осі) до іншого, призначена для упору деталей, встановлених на валу або осі.

Буртик (Б) - кільцеве потовщення вала (осі), що становить одне ціле з валом (віссю).

Канавка (К) - поглиблення на поверхні меншого діаметру між сусідніми ступенями валів: призначена для щільного прилягання деталі, що насаджується до заплічника (буртику), виходу шліфувального круга, при обробці поверхні меншого діаметру, виходу різьбонарізного інструменту. Ці канавки підвищують концентрацію напружень.

Галтель (Г) - криволінійна поверхня плавного переходу від меншого перерізу валу (осі), до плоскої частини заплічника або буртика.

Фаска (Ф) - скошена частина бічної поверхні валу (осі) у торця вала (осі), заплічника, буртика. Слугує для полегшення складання та запобігання травмування рук.

Рисунок 1.3. – Деталізація елементів конструкції ступінчастого валу

Пазом називається канавка з прямолінійною траєкторією. Форми поперечного перерізу пазів можуть бути досить складними. Пази служать для рухомого з'єднання деталей між собою. На рис 1.4. а) показаний Т-подібний паз, а на малюнку б) - паз під назвою «ластівчин хвіст».

Рисунок 1.4 – Варіанти пазів ступінчастого валу

Прорізом називається вузька канавка, яка прорізує наскрізь стінку деталі. На рис. 1.5 показані приклади зображення деяких деталей з прорізами.

Рисунок 1.5 – Приклади зображення деяких деталей з прорізами

На рис. 1.6. наведені приклади виконання буртиків і виступів на одній деталі, а на рис. 1.7 – приклади шипів на деталі

Рисунок 1.6 - Приклад виконання буртиків і виступів на одній деталі

Рисунок 1.7 - Приклади шипів на деталі

Шпонковий паз (Ш) - поглиблення на валах для установки шпонок. Виконують на ділянках кріплення деталей, що передають обертовий момент. Розміри шпонкових пазів приймають згідно до ДСТУ ГОСТ 23360 «Призматичні шпонки», ДСТУ ГОСТ 10748 «Призматичні високі шпонки» та ДСТУ ГОСТ 24071 «Сегментні шпонки». Сегментні шпонки, які передають обертаючий момент, припускається застосовувати лише з валами, що мають діаметри до 38 мм. Для підвищення технологічності виготовлення валу шпонкові пази приймають однаковими по ширині і обирають згідно до діаметра меншої шийки валу. Завдяки масовому застосуванню валів і осей в механізмах, для них розроблені нормативи на виконання різних конструктивних елементів.

Хвостовики валів Вихідні кінці валів виконують конічними, циліндричними або шліцьовими (рис. 1.8).

а – циліндричний, б – конічний, в – шліцьовий

Рисунок 1.8 – Приклади конструкції вихідних кінців валів

Циліндричні і конічні вихідні кінці валів виконують згідно до ДСТУ ГОСТ 12080, ДСТУ ГОСТ 12081 «Цилиндричні и коничні кінці валів» і приймають залежно від тих деталей, що будуть до них приєднуватись (шків, півмуфта, зірочка). Переважне поширення набуває конічна форма кінцевої ділянки валу, яка забезпечує точне і надійне з'єднання, можливість легкого монтажу і демонтажу встановлюваних деталей.

Переходи з канавкою застосовують лише у разі достатнього запасу міцності, оскільки канавки викликають більш високі місцеві напруження, ніж галтельні переходи. Канавки на валу виконують різних видів згідно до їх призначення.

Заплічки (уступи) для встановлення підшипників кочення на вал слід приймати по ДСТУ ГОСТ 20226 залежно від типу підшипника, його внутрішнього діаметра та серій діаметрів і ширини. У разі виконання галтельних переходів слід користуватись рекомендаціями, що наведені на рисунку 1.8.

Рисунок 1.8 – Галтельний перехід

Діаметр заплічика слід розраховувати за формулою рисунок 1.8а. Для гарного забезпечення відносного розташування деталей плоска частина переходу має складати від 1,5 мм до 2,5 мм.

Галтельні переходи на відміну від канавочних викликають меншу концентрацію напружень, тому такі переходи особливо бажано розташовувати в місцях, де запаси міцності малі. В місцях розташування зубчастих коліс вал зазвичай зазнає найбільших навантажень, тому тут слід зберігати галтельні переходи. На рис. 1.8б наведено варіант розташування зубчастого колеса на валу. Для підвищення зручності монтажу і збереження галтельного переходу шийку валу роблять коротшою за довжину маточини колеса.

1.3 Конструювання валів. Орієнтовний розрахунок діаметра валу

На першому етапі проектування валів і осей складають конструктивну і розрахункову схеми, визначають діючі навантаження.

Орієнтовний розрахунок валів виконується з метою попереднього визначення величин діаметрів їх вихідних кінців, посадочних місць йод підшипники і зубчасті колеса. На першій стадії проектування, як правило, геометрія валу визначена недостатньо і тому розрахунок ведеться тільки по дотичним напруженням, що виникають при крученні.

Так як при орієнтовному розрахунку не враховується вплив згинального моменту, наявність послаблюють факторів шпонкових канавок, кілець, переходів і р д.), то значення $\tau_{кр}$ берігся заниженими в порівнянні з допустимими напруженнями $\tau_{кр}$, які приводилися в довідниках. Значення $\tau_{кр}$ при орієнтовному розрахунку для валів з середньовуглецевих сталей приймаються в межах від 25 до 35 Н/мм залежно від виду навантаження та інтенсивності згинальних моментів. Напруга, що допускається $\tau_{кр}$ при орієнтовному розрахунку приймають невисоким тому, що необхідно забезпечити достатню жорсткість валів, як умова правильної роботи зубчастого зачеплення і підшипників.

Орієнтовно мінімально допустимий діаметр круглого валу без урахування наявності шпонкових або шліцьових пазів визначають за формулою (1.1):

$$d_{\min} \geq 17,2 \sqrt[3]{\frac{T}{\tau_{кр}}}, \quad (1.1)$$

де T - максимальний крутний момент на валу, Н м;

$\tau_{кр}$ - допустима дотична напруга, Н / мм²;

$d_{\min}$ - мінімально допустиме значення діаметра валу, мм.

Отримане значення $d_{\min}$ для консольних вхідних або вихідних ділянок (рис. 1.9) округлити до найближчого більшого стандартного, для проміжних валів (рис. 1.10) - до найближчого більшого стандартного значення внутрішнього діаметра підшипника.

Рисунок 1.9

Рисунок 1.10

Для редукторів, з'єднаних муфтою з електродвигуном, діаметр консольного ділянки вхідного вала узгоджують з посадковим діаметром маточини стандартних муфт.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1. Аналіз службового призначення деталі та фізико-механічні характеристики матеріалу

Вал ступінчастий, головного приводу, призначений для передачі моменту, що крутить, з шестерні на колесо за допомогою шпонки. Входить до редуктора конічного циліндричного: навантаження – нерівномірні; умови мастила - задовільні.

Деталь виготовлена зі сталі 40Х за ДСТУ 7809:2015 і має наступні характеристики (табл. 2.1):

Таблиця 2.1 – Хімічний склад:

Марка сталі	C	Si	Mn	Cr	Ni
	Вміст елементів в %				
40X	0,42-0,50	0,17-0,37	0,50-0,80	≤0,25	≤0,25

Така сталь має такі механічні властивості:

- тимчасовий опір при розтягуванні $\sigma_{вр} = 598$ МПа,
- межа плинності $\sigma_T = 590-690$ МПа,
- відносне подовження $\delta \geq 10\%$,
- Середнє значення щільності: $\rho = 7,814$ г/см³
- питома теплопровідність: 680 Вт/(м · С°)
- Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha = 11,649 \cdot 10^{-6}$ 1/С°

Сталь 40Х конструкційна сталь, що піддається загартуванню і наступному високотемпературному відпуску. Після такої термічної обробки сталі набувають структури сорбіту, що добре витримує ударні навантаження. Такі сталі мають невелике прокалювання (до 10 мм), тому механічні властивості зі збільшенням перерізу виробу знижуються. Для валу потрібно більш висока поверхнева твердість, отже, після загартування його піддають відпуску.

2.2 Класифікація поверхонь деталі

Все різноманіття поверхонь деталі можна розділити на три групи: робочі, базові та вільні поверхні

Таблиця 2.2 - Класифікація поверхонь деталі

Вид поверхні	№ поверхні
Виконавчі поверхні	17,19,23,25
Основні конструкторські бази	5,12,14
Допоміжні конструкторські бази	2,3,10,11,18,20,24,26
Вільні поверхні	1,4,6,7,8,9,13,15,16,21,22

Класифікація поверхонь деталі полегшує аналіз робочого креслення розробки технологічного процесу. Робочі та базові поверхні мають більш високу точність та малу шорсткість поверхні, вони визначають вибір методів обробки та їх послідовність при виготовленні деталі.

2.3. Аналіз технологічності деталі

Аналіз технологічності конструкції ступінчастого валу редуктора має на меті виявити можливості зменшення металомісткості деталі, трудомісткості її механічної обробки та використання високопродуктивних методів обробки.

Таблиця 2.1 – Технологічний маршрут обробки

№ поверхні	Вид поверхні	Точність обробки, JT	Шорсткість поверхні, Ra, мкм
1	Пласка	$h\frac{14}{2}$	12,5
2	Пласка	$h\frac{14}{2}$	12,5
3	Пласка	h6	2,5
4	Конічна	$h\frac{14}{2}$	12,5
5	Пласка	h6	2,5
6	Пласка	$h\frac{14}{2}$	12,5
7	Пласка	$h\frac{14}{2}$	12,5

8	Пласка	$h\frac{14}{2}$	12,5
9	Вісь центрів	-	-
10	Циліндрична	k6	1,25
11	Циліндрична	k6	1,25
12	Циліндрична	js6	1,25
13	Циліндрична	d11	12,5
14	Циліндрична	h8	1,25
15	Циліндрична	$h\frac{14}{2}$	12,5
16	Циліндрична	d10	12,5
17, 19	Пласка	P9	6,3
18, 20	Пласка	$h\frac{14}{2}$	12,5
21, 22	Конусна	$h\frac{14}{2}$	12,5
23, 25	Пласка	h8	1,25
24, 26	Циліндрична	h6	1.25

Якісна оцінка технологічності

Показники технологічності заготівлі наступні:

- коефіцієнт оброблюваності матеріалу різанням $K_{об} = 1$
- проста конструкція деталі (відсутність складних фасонних поверхонь) дозволяє використовувати під час її виробництва уніфіковану заготовку.
- габаритні розміри деталі та її використання дозволяє використовувати раціональні методи одержання заготівлі, такі як прокат, штампування, лиття.
- з урахуванням вимог до поверхонь деталі (точності, шорсткості), а також їх функціонального призначення остаточне формування поверхонь деталі на заготівельній операції неможливе.
- забезпечення потрібної шорсткості можливе стандартними режимами обробки та уніфікованим інструментом.
- обрана марка сталі легко піддається термообробці.

Показники технологічності конструкції деталі загалом

1. Матеріал перестав бути дефіцитним, вартість прийнятна.
2. Конфігурація деталі проста:
 - конструкційні елементи деталі універсальні;
 - розміри та якість поверхні деталі мають оптимальні вимоги щодо точності та шорсткості;

- конструкція деталі забезпечує можливість використання типових технологічних процесів для її виготовлення.
- можливість обробки декількох поверхонь з одного встановлення;
- з урахуванням вимог до поверхонь деталі (точності, шорсткості), а також їх функціонального призначення остаточне формування поверхонь деталі (жодної) на заготівельній операції неможливе. Нemoжливе оброблення на прохід.
- технічні вимоги не передбачають особливих методів та засобів контролю.

Показники технологічності базування та закріплення

- а) Заготовка встановлюється зручно для обробки;
- б) Під час механічної обробки єдність баз дотримується.

2.4. Вибір типу виробництва

Розраховуємо масу деталі:

$$m = V \cdot \rho, \quad (2.1)$$

$$m = \frac{\pi}{4} \cdot (68,263^2 \cdot 122 + 69,85^2 \cdot 126 + 88,9^2 \cdot 897 + 76,2^2 \cdot 330 + 57,15^2 \cdot 36 + 39,9^2 \cdot 23 + 34^2 \cdot 60) \cdot (7814 \cdot 10^{-9}) = 62,5 \text{ кг}$$

$$\rho = 7814 \text{ кг/м}^3$$

$m=62,5$ кг (з урахуванням шліців та місць під шпонки).

Аналіз вихідних даних:

- маса деталі становить - 62,5 кг.;
- обсяг випуску виробів - 10000 деталей/рік;
- режим роботи підприємства виробника – двозмінний;
- тип виробництва - середньо серійне.

Основні характеристики типу виробництва:

- обсяг випуску виробів – великий;
- номенклатура – середня;
- устаткування - універсальне, частково спеціальне;

- оснащення - універсальна, спеціалізована;
- ступінь механізації та автоматизації - великий;
- кваліфікація робітників – середня;
- форма організації технологічного процесу - групова змінно-потокова;
- розстановка обладнання – за типами верстатів, предметно-замкнуті ділянки;
- види технологічних процесів – поодинокі, типові, групові, операційні;
- коефіцієнт закріплення операції:

$$K3 = 22/15 = 1,46 \text{ (на одному робочому місці),}$$

- метод визначення операційних розмірів – розрахунково-аналітичний;
- метод забезпечення точності - обладнання, налаштоване за пробними деталями.

2.5. Вибір методу отримання заготовки та її проектування

Отримання заготівлі литтям у землю

1) Виходячи з вимог ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічну обробку [5], призначаємо припуски та допуски на розміри деталі та зводимо ці дані до таблиці 2.2.

Залежно від обраного методу приймаємо:

- клас точності розмірів та мас – 10
- низка припусків – 4.

Припуски на розміри дано набір. Клас точності розмірів, маси та рядів припусків вибираємо за таблицею 2.3 [6], допуски за таблицею 2.1 [6] та припуски за таблицею 2.2 [6]. Результати заносимо до таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Клас точності розмірів, маси та рядів припусків

Розміри, мм	Допуски, мм	Припуски, мм	Розрахунок розмірів заготовки, мм	Кінцеві . розміри, мм
Ø 68,263	+3,6 -1,8	6,4	Ø68,263+(2.6,4) = Ø81,063	Ø 84,0 ^{+3,6} _{-1,8}
Ø 69,85	+3,6 -1,8	6,8	Ø69,85+(2.6,8) = Ø83,50	Ø 84,0 ^{+3,6} _{-1,8}

Ø 88,0	+3,6 -1,8	8,6	Ø88,0+(2.8,6) = Ø105,2	Ø 105,0 +3,6 -1,8
Ø 76,2	+3,6 -1,8	6,8	Ø76,2+(2.6,8) = Ø89,8	Ø 90,0 +3,6 -1,8
Ø 57,15	+3,4 -1,5	6,4	57,15+(2·6,4) = 69,95	Ø 70,0 +3,4 -1,5
Ø 39,9	+3,4 -1,5	6,0	39,9+(2·6,0) = 51,9	Ø 52,0 +3,4 -1,5
Ø 34,0	+3,4 -1,5	5,2	34,0+(2·5,2) = 44,4	Ø 45,0 +3,4 -1,5
1594	+15,0 -3,7	10,0	1594+(2.10,0) = 1614	1614 +15,0 -3,7
897	+7,5 -3,0	10,0	897+(2.10,0) = 1606	902 +7,5 -3,0
248	+4,5 -2,4	10,0	248+(10,0)-(10,0) = 248	248 +4,5 -2,4
330	+5,4 -2,3	10,0	330+(10,0)-(10,0) = 330	330 +5,4 -2,3
119	+3,6 -1,8	10,0	119+(10,0)-(10,0) = 119	119 +3,6 -1,8
83	+3,3 -1,5	10,0	83+(10,0)-(10,0) = 83	83 +3,3 -1,5

2) Ливарні ухили обираємо відповідно з ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічну обробку [6], виходячи з конструктивних особливостей заготовки та дорівнюють не менше 1,5-2°. Відповідно до рекомендації, для спрощення виготовлення ливарної моделі приймаємо їх однаковими з величиною 3°.

3) Ливарні радіуси закруглень зовнішніх кутів приймаємо не менше 5 мм. R = 5 мм.

Ливарні радіуси закруглень внутрішніх кутів визначаємо за формулою $R=0,4 \cdot h$.

$$R_1 = R_2 = R_3 = 0,4 \cdot 10 \text{ мм} = 4 \text{ мм}$$

4) Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу K_m за формулою:

$$K_m = \frac{m}{M} \quad (2.2)$$

де m - маса деталі, кг;

M – маса заготовки, кг.

Розрахуємо масу заготовки за формулою (2.3)

$$M = V_3 \cdot \gamma \cdot 10^{-9}, \text{ кг} \quad (2.3)$$

де γ – щільність матеріалу, кг/м³.

$\gamma = 7814 \text{ кг/м}^3$ (для сталі);

V_3 – обсяг заготовки, мм³.

Обсяг заготовки визначаємо як алгебраїчну суму об'ємів найпростіших тіл, що складають заготовку:

$$V_{\Pi} = \frac{\pi}{4} (84^2 \cdot (248) + 105^2 \cdot (902) + 90^2 \cdot 330 + 70^2 \cdot 119 + 52^2 \cdot 83) = 15,12 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$$

5) Розрахуємо масу литої заготовки:

$$M = V_3 \cdot \gamma = 15,12 \cdot 10^6 \cdot 7814 \cdot 10^{-9} = 110,1 \text{ кг}$$

Визначимо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_M = \frac{m}{M} = \frac{62,5}{110,1} = 0,57$$

В даному випадку матеріал використовується нераціонально, тому що 43% йде у стружку.

2.6 Отримання заготовки штампуванням на кривошипних гарячештампувальних пресах

1) Згідно ДСТУ EN 10222-1:2005 Поковки сталеві для роботи під тиском. Частина 1. Загальні вимоги до поковок вільного кування [7] вибираємо:

а) обладнання – прес із виштовхувачем;

б) Штампувальні ухили: 5°;

в) Радіуси закруглень зовнішніх кутів, при глибині порожнини струмка:

10 ... 25 мм - $r = 2,5$ мм,

25 ... 50 мм - $r = 3$ мм;

Радіуси закруглень внутрішніх кутів, більше зовнішніх кутів у 3...4 рази.

2) Згідно ДСТУ EN 10222-1:2005 Поковки сталеві для роботи під тиском.

Частина 1. Загальні вимоги до поковок вільного кування [7] призначаємо допуски та припуски на обробку на сторону та заносимо їх до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Допуски та припуски на обробку

Розміри, мм	Допуски, мм	Припуски, мм	Розрахунок розмірів заготовки, мм	Кінцеві розміри, мм
Ø 68,263	+2,4 -1,2	3,2	Ø68,263+(2.3,2) = Ø75,663	Ø 76,0 +2,4 -1,2
Ø 69,85	+2,4 -1,2	3,4	Ø69,85+(2.3,4) = Ø76,1	Ø 76,0 +2,4 -1,2
Ø 88,0	+2,4 -1,2	4,3	Ø88,0+(2.4,3) = Ø96,6	Ø 97,0 +2,4 -1,2
Ø 76,2	+2,4 -1,2	3,4	Ø76,2+(2.3,4) = Ø83,8	Ø 84,0 +2,4 -1,2
Ø 57,15	+2,2 -1,0	3,2	57,15+(2.3,2) = 65,2	Ø 66,0 +2,2 -1,0
Ø 39,9	+2,2 -1,0	3,0	39,9+(2.3,0) = 47,9	Ø 48,0 +2,2 -1,0
Ø 34,0	+2,2 -1,0	2,6	34,0+(2.2,6) = 39,2	Ø 48,0 +2,2 -1,0
1594	+10,0 -2,5	6,0	1594+(2.6,0) = 1606	1606 +10,0 -2,5
897	+5,0 -2,0	6,0	897+(2.6,0) = 1606	902 +5,0 -2,0
248	+3,0 -1,5	6,0	248+(6,0)-(6,0) = 248	248 +3,0 -1,5
330	+3,5 -1,5	6,0	330+(6,0)-(6,0) = 330	330 +3,5 -1,5
119	+2,4 -1,2	6,0	119+(6,0)-(6,0) = 119	119 +2,4 -1,2
83	+2,2 -1,0	6,0	83+(6,0)-(6,0) = 83	83 +2,2 -1,0

3) Розрахуємо площу поковки:

$$F_{\text{пок.п}} = 39392 \text{ мм}^2$$

4) Визначаємо товщину містка для облої:

$$h_0 = C_0 \cdot \sqrt{F} = 0,016 \cdot \sqrt{39392} \approx 3,19, \text{ мм}$$

Коефіцієнт C_0 приймаємо рівним 0,016.

5) Вибираємо інші розміри облойної канавки:

а) зусилля преса – 10МН;

б) $h_0 = 2,0$ мм;

в) $l = 4$ мм;

г) $h = 6$ мм;

д) $R_1 = 15$ мм.

6) Розраховуємо обсяг заготовки (2.4):

$$V_{\text{заг.}} = V_{\text{п}} + V_{\text{у}} + V_{\text{о}}, \text{ мм}^3 \quad (2.4)$$

де $V_{\text{п}}$ – обсяг поковки, що розраховується за номінальними горизонтальними розмірами креслення;

$V_{\text{у}}$ – обсяг чаду, який визначається залежно від способу нагрівання;

$V_{\text{о}}$ – обсяг облої при штампуванні.

а) Об'єм поковки:

$$V_{\text{п}} = \frac{\pi}{4} (76^2 \cdot (248) + 97^2 \cdot (902) + 84^2 \cdot 330 + 66^2 \cdot 36 + 48^2 \cdot 83) = 9,893 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$$

б) Обсяг чаду $V_{\text{у}}$ приймаємо рівним 1% від $V_{\text{п}}$. $V_{\text{у}} = 0,098 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$

в) Обсяг облої $V_{\text{о}}$ (2.5):

$$V_{\text{о}} = \xi \cdot F_{\text{м}} \cdot (P_{\text{п}} + \xi \pi \cdot l), \quad (2.5)$$

де ξ - коефіцієнт, що враховує зміну фактичної площі перерізу одержуваної облої порівняно з площею перерізу містка; $\xi=2$.

$F_{\text{м}}$ – площа поперечного перерізу містка;

$P_{\text{п}}$ - периметр поковки;

$$F_M = l \cdot h_0 = 4 \cdot 2,0 = 8 \text{ мм}^2$$

$$P_{\Pi} = 1177 \text{ мм.}$$

Підставимо отримані дані у формулу:

$$V_0 = 2 \cdot 8 \cdot (1177 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4) = 19233,92 \text{ мм}^3;$$

г) Об'єм поковки:

$$V_{\text{заг.}} = 9,893 \cdot 10^6 + 0,098 \cdot 10^6 + 19233,92 = 10,02 \cdot 10^6 \text{ мм}^3.$$

Визначимо параметри вихідної заготовки для штампування.

б) Розрахуємо масу поковки:

$$M = V_3 \cdot \gamma = 10,02 \cdot 10^6 \cdot 7814 \cdot 10^{-9} = 78,29 \text{ кг}$$

7) Визначимо коефіцієнт використання матеріалу

$$K_M = \frac{m}{M} = \frac{62,5}{78,29} = 0,8$$

В даному випадку матеріал використовується раціонально, тому що тільки 20% йде у стружку.

Даний метод отримання заготовки задовольняє задачі отримання заготовки з контуром деталі, що наближається до контуру; тобто. з коефіцієнтом використання K_M близьким до 1.

2.7 Розробка технологічного маршруту та плану виготовлення деталі

Розробка технологічного маршруту обробки поверхонь

Таблиця 2.5 – Технологічний маршрут заготовки

№ пов.	Квалітет точності	Шорхуватість Ra.	Маршрут обробки
1	14	10,0	Φ, ТО.
2	8	2,5	Т, Тч, ТО, Ш.
3	8	2,5	Т, Тч, ТО, Ш.
4	8	2,5	Т, Тч, ТО, Ш.
5	8	2,5	Т, Тч, ТО, Ш.
6	8	2,5	Т, Тч, ТО, Ш.
7	8	2,5	Т, Тч, ТО, Ш.
8	14	10,0	Φ, ТО.
9	7	1,25	С, ТО, Ш, Шч.
10	6	1,25	Т, Тч, ТО, Ш, Шч.
11	6	1,25	Т, Тч, ТО, Ш, Шч.
12	6	1,25	Т, Тч, ТО, Ш, Шч.
13	14	2,5	Т, Тч, ТО.

14	8	1,25	Т, Тч, ТО, Ш.
15	14	2,5	Т, Тч, ТО.
16	14	2,5	Т, Тч, ТО.
17	9	5,0	Ф, ТО.
18	9	10,0	Ф, ТО.
19	9	5,0	Ф, ТО.
20	9	10,0	Ф, ТО.
21	14	10,0	С, ТО.
22	14	10,0	С, ТО.
23, 25	7	1,25	Ф, ТО, Ш, Шч.
24, 26	6	1,25	Ф, ТО, Ш, Шч.

У таблиці 2.3 наступні позначення: Т – точіння чорнове; Тч - точіння чистове; ТО – термообробка; Ш - попереднє шліфування; Шч – шліфування чистове; С – свердління; Ф – фрезерування.

Таблиця 2.6 - Технологічний маршрут заготовки

№ операції	Назва та марка обладнання	Назва операції	Оброблювальні поверхні
00	Горизонтально-ковочна машина ГKM	Заготівельна	Все формоутворюючі поверхні (ескіз)
05	Фрезерно-центрувальний МР-71М	Фрезерно-центрувальна	1, 8, 9.
10-1	Багаторізовий п/а 1Б732Ф3	Токарна (чорнова)	2, 3, 10, 11, 12.
10-2	Багаторізовий п/а 1Б732Ф3	Токарна (чорнова)	4, 5, 6, 7, 13, 14, 15, 16.
15- 1	Багаторізовий п/а 1Б732Ф3	Токарна (чистова)	2, 3, 10, 11, 12.
15-2	Багаторізовий п/а 1Б732Ф3	Токарна (чистова)	4, 5, 6, 7, 13, 14, 15, 16.
20	Вертикально-фрезерний з ЧПУ 6Р16РФ3	Фрезерна	17, 18, 19, 20.
25	Горизонтально-фрезерний з ЧПУ 6Р82ГФ3	Фрезерна	23, 24, 25, 26.
30	Радіально-свердлильний 2М57	Свердлильна	21, 22.
35	Термопечь	Термічна	Всі поверхні
40	Центрошліфувальний ZSM5100	Центрошліфувальна	9.
45-1	Торцекругло-шліфувальний 3Т160	Торцекругло-шліфувальна (попередня)	2, 3, 10, 11, 12.
45-2	Торцекругло-шліфувальний 3Т160	Торцекругло-шліфувальна (попередня)	4, 5, 6, 7, 14.
50-1	Торцекругло-шліфувальний 3Т160	Торцекругло-шліфувальна	14.

		(чистова)	
50-2	Торцекругло-шліфувальний 3Т160	Торцекругло- шліфувальна (чистова)	10, 11, 12.
55	Шліфувальний з ЧПУ 3М163Ф2Н1В	Шліфувальна (попередня)	23, 24, 25, 26.
60	Шліфувальний з ЧПУ 3М163Ф2Н1В	Шліфувальна (чистова)	23, 24, 25, 26.
65	Мийна машина Осифел	Мийна	Всі поверхні
70	Контрольний стіл	Контрольна	Всі поверхні

Розробка технологічних схем базування

На операції 05 фрезерно-центрувальній як технологічні бази використовуємо зовнішню циліндричну поверхню 12^{00} і торець 4^{00} . Така схема базування (подвійна напрямна і дві опорні точки) матеріалізується за допомогою лещат з призматичними губками і відкидного упору. Тут і далі індекс біля номера поверхні позначає номер операції, де вона отримана. Індекс 00 належить заготовчій операції.

На операції 10 токарній (чорновій) на два встановлення як технологічні бази використовуємо штучні технологічні бази під центри, що обертаються (поверхні 9^{05}), торець (8^{05} – встановлення 1), (1^{05} – встановлення 2) і зовнішню циліндричну поверхню (16^{00} – встановлення 1), (10^{10} – встановлення 2). Така схема базування (подвійна напрямна і дві опорні точки) матеріалізується за допомогою центрів, що обертаються, повідкового патрона і люнета.

На операції 15 токарній (чистовій) на два встановлення як технологічні бази використовуємо штучні технологічні бази під центри, що обертаються (поверхні 9^{05}), торець (8^{05} – встановлення 1), (1^{05} – встановлення 2) і зовнішню циліндричну поверхню (16^{10} – встановлення 1), (10^{15} – встановлення 2). Така схема базування (подвійна напрямна і дві опорні точки) матеріалізується за допомогою центрів, що обертаються, повідкового патрона і люнета.

На операції 20 фрезерній як технологічні бази використовуємо зовнішню циліндричну поверхню 12^{15} , а так само торець 3^{15} . Така схема базування (подвійна напрямна і дві опорні точки) матеріалізується за допомогою лещат з призматичними губками і упору.

На операції 25 фрезерній в якості технологічних баз використовуємо зовнішню циліндричну поверхню 12^{15} , а так само торець 3^{15} . Така схема базування (подвійна напрямна і дві опорні точки) матеріалізується за допомогою центрів, паводкового патрона з ділильною головкою, упору і люнету.

На операції 30 свердлильній в якості технологічних баз використовуємо зовнішню циліндричну поверхню 12^{15} , а також торець 3^{15} . Така схема базування (подвійна напрямна і дві опорні точки) матеріалізується за допомогою лещат з призматичними губками та упору.

На операції 40 центрошліфувальній як технологічну базу використовуємо зовнішні циліндричні поверхні 12^{35} та торець 3^{35} . Така схема базування (подвійна напрямна і дві опорні точки) матеріалізується за допомогою лещат з призматичними губками та упору.

На операції 45 торцекругло-шліфувальній (попередній) на два встановлення як технологічні бази використовуємо штучні технологічні бази під центри, що обертаються (поверхні 9^{40}), торець (8^{35} – встановлення 1), (1^{35} – встановлення 2) і зовнішню циліндричну поверхню (16^{35} – встановлення 1), (10^{45} – встановлення 2). Така схема базування (подвійна напрямна і дві опорні точки) матеріалізується за допомогою центрів, що обертаються, і паводкового патрона.

На операції 50 торцекругло-шліфувальній (чистові) на два встановлення як технологічні бази використовуємо штучні технологічні бази під центри, що обертаються (поверхні 9^{40}), торець (8^{35} – установ 1), (1^{35} – установ 2) і зовнішню циліндричну поверхню (10^{45} – установ 1), (14^{50} – установ 2). Така схема базування (подвійна напрямна і дві опорні точки) матеріалізується за допомогою центрів, що обертаються, і паводкового патрона.

На операції 55 шліфувальній (попередній) в якості технологічних баз використовуємо штучні технологічні бази під центри, що обертаються (поверхні 9^{40}), торець 1^{35} і зовнішню циліндричну поверхню 10^{50} . Така схема базування (подвійна напрямна та дві опорні точки) матеріалізується за допомогою центрів, паводкового патрона з ділильною головкою та упору.

На операції 60 шліфувальній (попередній) як технологічні бази використовуємо штучні технологічні бази під центри, що обертаються (поверхні 9^{40}), торець 1^{35} і зовнішню циліндричну поверхню 10^{50} . Така схема базування (подвійна напрямна і дві опорних точки) матеріалізується за допомогою центрів, поводкового з ділильною головкою та упору.

Прийняті схеми базування забезпечують нульову чи мінімальну похибку базування під час обробки.

2.8. Визначення операційних припусків на всі поверхні виробу

Розрахунок припусків полягає у визначенні товщини шару матеріалу, що видаляється в процесі обробки заготовки. Припуск повинен бути мінімальним, щоб зменшити кількість матеріалу, що знімається, і витрати на обробку, і в той же час достатнім, щоб виключити появу на обробленій поверхні дефектів (шорсткість, чорнота, вибілений шар тощо) чорнових операцій.

Припуск на найтоншу поверхню 12 $\varnothing 88,9js6$ розрахуємо аналітичним методом переходів [6]. Результати розрахунку заносимо до таблиці 2.7.

1) У графі 1 і 2 заносимо номери та зміст переходів по порядку, починаючи з отримання заготовки та закінчуючи остаточною обробкою. Заготівельної операції надаємо № 00.

2) У графу 3 записуємо квалітет точності, одержуваний на кожному переході. За таблицею 18.2. [6] визначаємо величину T_d допуску для кожного квалітету та записуємо у графу 4.

3) Для кожного переходу визначаємо складові припуску. За таблицею 18.2. [6] визначаємо сумарну величину, $\alpha = h_d + R_z$, де R_z - висота нерівностей профілю мм, h_d - глибина дефектного шару мм. Значення α заносимо до графи 5 таблиці 2.7.

За формулою $\Delta = 0,25Td$ [5] визначаємо сумарне відхилення форми та розташування поверхонь після обробки на кожному переході. Значення Δ заносимо до графи 6 таблиці 2.7.

Похибка установки ε заготовки в пристосуванні на кожному переході, де збігаються технологічна та вимірювальна база, приймаємо рівною нулю.

Для випадків розбіжності баз значення $\varepsilon \in y$ [6]. Значення ε заносимо до графі 7 таблиці 2.7. Для переходів 00 у графі 7 ставимо прочерк.

4) Визначаємо граничні значення припусків на обробку кожного переходу, крім 00.

Мінімальне значення припуску визначаємо за формулою (2.6):

$$z_i - 1 \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2} \text{ мм}_{imin} \quad (2.6)$$

Тут i далі індекс i відноситься до цього переходу, $i-1$ – до попереднього переходу, $i+1$ – до наступного переходу.

$$z_0 \sqrt{\Delta_0^2 + \varepsilon_0^2} \sqrt{0,875^2 + 0^2} \text{ мм}_{1min};$$

$$z_1 \sqrt{\Delta_1^2 + \varepsilon_1^2} \sqrt{0,088^2 + 0^2} \text{ мм}_{2min};$$

$$z_2 \sqrt{\Delta_2^2 + \varepsilon_2^2} \sqrt{0,035^2 + 0,06^2} \text{ мм}_{3min};$$

$$z_3 \sqrt{\Delta_3^2 + \varepsilon_3^2} \sqrt{0,013^2 + 0,05^2} \text{ мм}_{4min}.$$

Визначаємо розрахунковий мінімальний розмір D_p для кожного переходу за формулою (2.7):

$$D_{i-1 min p} = D_{i min p} + 2z_{i min p}; \quad (2.7)$$

$$D_{3 min p} = D_{4 min p} + 2z_{4 min p} = 88,889 + 2 \cdot 0,102 = 89,093 \text{ мм};$$

$$D_{2 min p} = D_{3 min p} + 2z_{3 min p} = 89,093 + 2 \cdot 0,149 = 89,391 \text{ мм};$$

$$D_{1 min p} = D_{2 min p} + 2z_{2 min p} = 89,391 + 2 \cdot 0,318 = 90,027 \text{ мм};$$

$$D_{0 min p} = D_{1 min p} + 2z_{1 min p} = 90,027 + 2 \cdot 1,15 = 92,327 \text{ мм}.$$

Округлимо значення D_p для кожного переходу до того ж десяткового дробу, з яким заданий допуск на розмір для цього переходу, у бік збільшення. $D_{\text{мм}4\text{min}}$; $D_{\text{мм}3\text{min}}$; $D_{\text{мм}2\text{min}}$; $D_{\text{мм}1\text{min}}$; $D_{\text{мм}0\text{min}}$.

Округлені значення D_p заносимо до графі 8 таблиці 2.7.

Визначимо максимальний розмір кожного переходу за формулою (2.8):

$$D_{i\text{min}i\text{max}} \quad (2.8)$$

$D_{4\text{мм}4\text{min}4\text{max}}$; $D_{3\text{мм}3\text{min}3\text{max}}$; $D_{2\text{мм}2\text{min}2\text{max}}$; $D_{1\text{мм}1\text{min}1\text{max}}$; $D_{0\text{мм}0\text{min}0\text{max}}$.

Максимальне значення розміру заносимо до графі 9 таблиці 2.7.

Максимальне значення припуску визначаємо за формулою (2.9):

$$2z_{i\text{max}i} - 1\text{max}_{i\text{max}}; \quad (2.9)$$

$2z_{\text{мм}4\text{max}3\text{max}4\text{max}}$; $2z_{\text{мм}3\text{max}2\text{max}3\text{max}}$; $2z_{\text{мм}2\text{max}1\text{max}2\text{max}}$; $2z_{\text{мм}1\text{max}0\text{max}1\text{max}}$.

Мінімальне значення припуску на діаметр: $2z_{\text{мм}1\text{min}}$; $2z_{\text{мм}2\text{min}}$; $2z_{\text{мм}3\text{min}}$; $2z_{\text{мм}4\text{min}}$.

Значення $2z_{\text{min}}$ и $2z_{\text{max}}$ заносимо до граф 10 і 11 таблиці 2.7. У рядку, що відповідає переходу 00, ставимо прочерк.

Визначаємо загальний припуск на обробку z_0 по формулі (2.10) підсумовуючи проміжні припуски:

$$2z_{4\text{min}3\text{min}2\text{min}1\text{min}0\text{min}} \quad (2.10)$$

$2z_{\text{мм}0\text{min}}$; $2z_{4\text{max}3\text{max}2\text{max}1\text{max}0\text{max}}$; $2z_{\text{мм}0\text{max}}$

Значення $z_{0\text{max}}$ и $z_{0\text{min}}$ заносимо в рядок 7 таблиці 2.7.

Правильність розрахунків перевіряємо за формулою 2.11

$$2z_i - 1_i i min_{imax} \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} 2z_{0_1} 1 min_{1max}; & 5,450 - 2,300 = 3,500 - 0,350; 3,150 = 3,150; \\ 2z_{1_2} 2 min_{2max}; & 0,846 - 0,636 = 0,350 - 0,140; 0,210 = 0,210; \\ 2z_{2_3} 3 min_{3max}; & 0,388 - 0,298 = 0,140 - 0,050; 0,090 = 0,090; \\ 2z_{3_4} 4 min_{4max}; & 0,232 - 0,204 = 0,050 - 0,022; 0,028 = 0,028; \\ 2z_{заг_{дет}} 0 min_{0max}; & 6,916 - 3,438 = 3,500 - 0,022; 3,478 = 3,478, \end{aligned}$$

де $Td_{заг}$ - допуск на розмір заготівлі;

$Td_{дет}$ - допуск на розмір готової деталі.

Перевірка сходиться, отже, припуски розраховані, правильно.

Схема розташування припусків, допусків та операційних розмірів для поверхні 12 Ø88,9js6 представлена на рис 2.7. Припуски та допуски на інші поверхні визначаємо табличним методом за ДСТУ EN 10222-1:2005 [7]. Як заготовку використовуємо поковку. Усі необхідні допуски і припуски на інші розміри розглядалися у розділі 2.5. даної роботи.

Таблица 2.7 - Розрахунок припусків на обробку

№ оп	Название операции	IT	Td	α	Δ	ε	Dmin	Dmax	2zmin	2zmax
00	Заготівельна	17	3,50 0	0,27	0,87 5	-	92,327	95,827	-	-
10	Токарна (чорнова)	12	0,35 0	0,23	0,08 8	0	90,027	90,377	2,300	5,450
15	Токарна (чистова)	10	0,14 0	0,08	0,03 5	0	89,391	89,531	0,636	0,846
45	Шліфувальна (попередня)	8	0,05 0	0,05	0,01 3	0,06	89,093	89,143	0,298	0,388
50	Шліфувальна (чистова)	6	0,02 2	0,03	0,00 6	0,05	88,889	88,911	0,204	0,232
2z0min		3,438			2z0max			6,916		

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1. Розрахунок режимів різання аналітичним методом на дві операції

Розрахуємо режими різання на операцію 15 токарну (чистову). Для обраної операції – токарної – застосуємо аналітичний метод визначення режимів різання [6]. Цю операцію виконаємо за два установки. Перша встановлення - точіння поверхонь 2, 3, 10, 11, 12. Друге встановлення - точіння поверхонь 4, 5, 6, 7, 13, 14, 15, 16.

Розробку режиму різання на токарній (чистовій) операції починають із встановлення характеристики різального інструменту. Різальний інструмент – різець прямий прохідний лівий ВК8 $\phi = 60^\circ$ ДСТУ ГОСТ 18878-73, різець прямий підрізний лівий ВК8 $\phi = 60^\circ$ ДСТУ ГОСТ 18880-73.

Основні параметри різання при точінні: $\varnothing 75$

Встановлення 1:

- ◆ глибина різання: $t = 2$ мм;
- ◆ подача: $S = 0,6$ мм/об обираємо по таблиці 14 [6];
- ◆ швидкість різання (3.1):

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (3.1)$$

де C_v – постійна величина для певних умов обробки, вибираємо за таблицею 17 [6];

T – період стійкості інструменту;

t – глибина різання;

S – подача;

x, y, m – показники ступеня, вибираємо за таблицею 17 [6];

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання дорівнює:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{pv} = 0,818 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,818,$$

де $K_{M\vartheta}$ – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу;

$K_{u\vartheta} = 1,0$ - коефіцієнт на інструментальний матеріал, вибираємо за таблицею 6 [6];

$K_{п\vartheta} = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки, вибираємо за таблицею 5 [6];

$$K_{M\vartheta} = K_{\Gamma} \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n\vartheta} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{600}\right)^{-0,9} = 0,818,$$

де K_{Γ} – коефіцієнт, який характеризує, групу сталі по оброблюваності, обираємо за таблицею 2 [6];

$\sigma_B = 600$ МПа - коефіцієнт, що характеризує оброблюваний матеріал.

$$V = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,6^{0,45}} \cdot 0,818 = 139,085 \text{ м/хв};$$

♦ частота обертання інструменту:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 139,085}{3,14 \cdot 75} = 590,6 \text{ об/хв};$$

За паспортом станка приймаємо $S = 0,5$ мм/об і $n = 600$ об/хв.

♦ сила різання:

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

де C_p – постійна величина для певних умов обробки, вибираємо за таблицею 22 [8];

K_p – поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу (3.2):

$$K_p = K_{MP} \cdot K_{\phi P} \cdot K_{\gamma P} \cdot K_{\lambda P} \cdot K_{rP}, \quad (3.2)$$

где $K_{MP}, K_{\phi P}, K_{\gamma P}, K_{\lambda P}, K_{rP}$ – коефіцієнти, які враховують фактичні умови різання, вибираємо за таблицями 9, 10 та 23 [6];

$$K_p = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 0,819;$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2^{1,0} \cdot 0,5^{0,75} \cdot 139,085^{-0,15} \cdot 0,819 = 1394 \text{ Н}.$$

♦ потужність різання: $N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1394 \cdot 139,085}{1020 \cdot 60} = 3,168 \text{ кВт} < N_{ст}$
(потужності вистачає для цієї роботи).

Верстат за потужністю підходить.

Встановлення 2.

♦ глибина різання: $t = 2$ мм;

♦ подача: $S = 0,6$ мм/об обираємо по таблиці 14 [6];

$K_{п\vartheta} = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки, вибираємо за таблицею 5 [6];

$$K_{M\vartheta} = K_{\Gamma} \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n\vartheta} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{600}\right)^{-0,9} = 0,818,$$

де K_{Γ} – коефіцієнт, який характеризує, групу сталі по оброблюваності, обираємо за таблицею 2 [6];

$\sigma_B = 600$ МПа - коефіцієнт, що характеризує оброблюваний матеріал

$$V = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,6^{0,45}} \cdot 0,818 = 139,085 \text{ м/хв};$$

♦ частота обертання інструменту:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 139,085}{3,14 \cdot 75} = 590,6 \text{ об/хв};$$

За паспортом станка $S = 0,5$ мм/об и $n = 600$ об/хв.

♦ сила різання (3.3):

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (3.3)$$

де C_p – постійна величина для певних умов обробки, вибираємо за таблицею 22 [8];

$$K_p = K_{MP} \cdot K_{\phi P} \cdot K_{\gamma P} \cdot K_{\lambda P} \cdot K_{rP}$$

K_p – поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу:

де $K_{MP}, K_{\phi P}, K_{\gamma P}, K_{\lambda P}, K_{rP}$ – коефіцієнти, які враховують фактичні умови різання, вибираємо за таблицями 9, 10 та 23 [6];

$$K_p = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 0,819;$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2^{1,0} \cdot 0,5^{0,75} \cdot 139,085^{-0,15} \cdot 0,819 = 1394 \text{ Н.}$$

♦ потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1394 \cdot 139,085}{1020 \cdot 60} = 3,168 \text{ кВт.}$$

Верстат за потужністю відповідає.

Встановлення 1

- ◆ глибина різання: $t = 2 \text{ мм}$;
- ◆ подача: $S = 0,6 \text{ мм/об}$ обираємо по таблиці 14 [6];

Розрахуємо режими різання на операцію 25 фрезерну. Для обраної операції – фрезерної – застосуємо аналітичний метод визначення режимів різання [6]. Цю операцію виконаємо за два переходи. Перший перехід – фрезерування поверхонь 25, 26. Другий перехід – фрезерування поверхонь 23, 24.

Розробку режимів різання на фрезерній операції починаємо із встановлення характеристики різального інструменту. Спеціальна профільна дискова фреза ВК8 $\varnothing 100 \text{ мм}$ і $\varnothing 50 \text{ мм}$.

Основні параметри різання при фрезеруванні:

Перехід 1

- ◆ глибина різання: $t = 3,0 \text{ мм}$;
- ◆ подача: $S_z = 0,25 \text{ мм/зуб}$ обираємо по таблиці 33 [6];
- ◆ швидкість різання (3.4)

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_\vartheta, \quad (3.4)$$

де C_v – постійна величина для певних умов обробки, обираємо за таблицею 39 [6];

D – діаметр фрези;

z – число зубів фрези;

T – період стійкості інструменту;

t – глибина різання;

S_z – подача;

B – параметр шару, що зрізається;

x, y, q, m, u, p – показники ступеня, обираємо за таблицею 39 [6];

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання дорівнює:

$$K_{\vartheta} = K_{M\vartheta} \cdot K_{u\vartheta} \cdot K_{п\vartheta} = 0,818 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,736,$$

де $K_{M\vartheta}$ – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу;

$K_{u\vartheta} = 1,0$ - коефіцієнт на інструментальний матеріал, обираємо за таблицею 6 [8];

$K_{п\vartheta} = 0,9$ - коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки, обираємо за таблицею 5 [6];

$$K_{M\vartheta} = K_{\Gamma} \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n_{\vartheta}} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{600}\right)^{-0,9} = 0,818,$$

де K_{Γ} – коефіцієнт, який характеризує, групу сталі по оброблюваності, обираємо за таблицею 2 [6];

$\sigma_B = 600$ МПа - коефіцієнт, що характеризує оброблюваний матеріал

$$V = \frac{53,0 \cdot 50^{1,0}}{120^{0,2} \cdot 3,0^{0,3} \cdot 0,25^{0,2} \cdot 70^{0,2} \cdot 10^{0,1}} \cdot 0,736 = 382 \text{ м/хв};$$

♦ частота обертання інструменту:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 382}{3,14 \cdot 50} = 2006 \text{ об/хв};$$

За паспортом верстата приймаємо $S = 0,25$ мм/об і $n = 2000$ об/хв.

♦ сила різання (3.5):

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP}, \quad (3.5)$$

де C_p – постійна величина для певних умов обробки, вибираємо за таблицею 41 [8];

z – число зубів фрези;

n – частота обертання фрези;

K_{MP} – поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу, вибираємо за таблицею 9 [8].

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{600}{750}\right)^{1,0} = 0,8;$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 261 \cdot 3,0^{0,9} \cdot 0,25^{0,8} \cdot 7^{1,1} \cdot 10}{50^{1,1} \cdot 2000^{0,1}} \cdot 0,8 = 2500 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

♦ потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{2500 \cdot 382}{1020 \cdot 60} = 15,6 \text{ кВт}.$$

Верстат за потужністю проходить

Перехід 2

♦ глибина різання: $t = 8,0 \text{ мм}$;

♦ подача: $S_z = 0,2 \text{ мм/зуб}$ обираємо по таблиці 33 [6];

♦ швидкість різання (3.6):

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v, \quad (3.6)$$

де C_v – постійна величина для певних умов обробки, обираємо за таблицею 39 [6];

D – діаметр фрези;

z – число зубів фрези;

T – період стійкості інструменту;

t – глибина різання;

S_z – подача;

B – параметр шару, що зрізається;

x, y, q, m, u, p – показники ступеня, обираємо за таблицею 39 [6];

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання дорівнює:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{pv} = 0,818 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,736,$$

де K_{Mv} – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу;

$K_{uv} = 1,0$ - коефіцієнт на інструментальний матеріал, обираємо за таблицею 6 [8];

$K_{pv} = 0,9$ - коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки, выбираем по таблице 5 [6];

$$K_{M9} = K_{\Gamma} \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n_9} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{600}\right)^{-0,9} = 0,818,$$

де K_{Γ} – коефіцієнт, який характеризує, групу сталі по оброблюваності, обираємо за таблицею 2 [6];

$\sigma_B = 600$ МПа - коефіцієнт, що характеризує оброблюваний матеріал

$$V = \frac{53,0 \cdot 100^{1,0}}{120^{0,2} \cdot 8,0^{0,3} \cdot 0,2^{0,2} \cdot 18^{0,2} \cdot 18^{0,1}} \cdot 0,736 = 632 \text{ м/хв};$$

♦ частота обертання інструменту:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 632}{3,14 \cdot 100} = 2012 \text{ об/хв};$$

За паспортом верстата приймаємо $S = 0,25$ мм/об і $n = 2000$ об/мин.

♦ сила різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP}, [6]$$

де C_p – постійна величина для певних умов обробки, вибираємо за таблицею 41 [8];

z – число зубів фрези;

n – частота обертання фрези;

K_{MP} – поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу, вибираємо за таблицею 9 [8].

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{600}{750}\right)^{1,0} = 0,8;$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 261 \cdot 8,0^{0,9} \cdot 0,25^{0,8} \cdot 18^{1,1} \cdot 18}{100^{1,1} \cdot 2000^{0,1}} \cdot 0,8 = 5700 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

♦ потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{5700 \cdot 632}{1020 \cdot 60} = 58,6 \text{ кВт} < N_{\text{ст}} \text{ (потужності вистачає цієї роботи).}$$

Верстат відповідає за потужністю.

На решту операцій режими різання призначаємо за довідковими даними [6], подача, глибина різання та обороти.

Операцію 05 фрезерно-центрову виконаємо за два переходи - фрезерування торців 1 і 8, свердління центрових отворів 19.

Основні параметри різання при фрезеруванні:

Перехід 1

- ◆ глибина різання: $t = 5$ мм;
- ◆ подача: $S_z = 0,25$ мм/зуб обираємо по таблиці 33 [6];
- ◆ частота обертання інструменту: $n = 1500$ об/хв.

Основні параметри різання при свердлінні:

Перехід 2

- ◆ глибина різання: $t = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 3,15 = 1,575$ мм;
де D – діаметр свердла;
- ◆ подача: $S = 0,06$ мм/об, обираємо по таблиці 25 [6];
- ◆ частота обертання інструменту: $n = 4000$ об/хв.

Операцію 10 токарну (чорнову) виконаємо за два встановлення. Перше встановлення - точіння поверхонь 2, 3, 10, 11, 12. Друге встановлення - точіння поверхонь 4, 5, 6, 7, 13, 14, 15, 16.

Основні параметри різання при точінні:

	Встановлення 1	Встановлення 2
глибина різання	$t = 7$ мм;	$t = 7$ мм
подача	$S = 0,8$ мм/об обираємо по таблиці 11 [6]	$S = 0,8$ мм/об обираємо по таблиці 11 [6]
частота обертання інструменту	$n = 2000$ об/хв	$n = 2000$ об/хв

Операцію 20 фрезерну за один перехід фрезерування поверхонь 17, 18, 19, 20.

Основні параметри різання при фрезеруванні:

Перехід 1

- ◆ глибина різання: $t = 8,5$ мм;
- ◆ подача: $S_z = 0,25$ мм/зуб обираємо по таблиці 33 [6];
- ◆ частота обертання інструменту: $n = 1000$ об/хв

Операцію 30 свердлильну виконаємо за один перехід - свердління поверхонь 21, 22.

Основні параметри різання при свердлінні:

Перехід 2

◆ глибина різання: $t = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 8 = 4$ мм;

де D – діаметр свердла;

◆ подача: $S = 0,09$ мм/об, обираємо по таблиці 25 [6];

◆ частота обертання інструмента: $n = 2000$ об/хв.

Операцію 40 центрошліфовальну виконуємо за один перехід – центрошліфування поверхні 19.

Основні параметри різання при центрошліфуванні:

Перехід 1

◆ глибина різання: $t = 0,01$ мм;

◆ подача: $S = 0,5 \cdot B = 0,5 \cdot 2 = 1,0$ мм/об;

◆ швидкість різання: $V_K = 35$ м/с;

$V_Z = 25$ м/хв;

◆ частота обертання інструменту: $n = 4000$ об/хв;

Операцію 45 (попередню) виконаємо у 2 встановлення. Перше – шліфування поверхонь 3, 2, 10, 11, 12. Друге – шліфування поверхонь 4, 5, 6, 7, 14.

Основні параметри різання при шліфуванні:

	Встановлення 1	Встановлення 2
глибина різання	$t = 0,3$ мм;	$t = 0,3$ мм
подача	$S_{\text{пр}} = 18$ мм/об; 20 об/хв	$S_K = S_{\text{пр}} = 18$ мм/об; 20 об/хв
швидкість різання	$V_K = 80$ м/с;	$V_K = 80$ м/с;
частота обертання інструменту	$n = 10000$ об/хв	$n = 10000$ об/хв

Операцію 50 торцекруглошліфовальну (чистову) виконаємо у 2 встановлення. Перше – шліфування поверхні 14. Друге – шліфування поверхонь 10, 11, 12.

Основні параметри різання при шліфуванні:

	Встановлення 1	Встановлення 2
глибина різання	$t = 0,05 \text{ мм}$	$t = 0,05 \text{ мм}$
подача	$S_{\text{ПР}} = 18 \text{ мм/об};$ 20 об/хв.	$S_{\text{К}} = S_{\text{ПР}} = 18 \text{ мм/об};$ 20 об/хв.
швидкість різання	$V_{\text{К}} = 80 \text{ м/с};$	$V_{\text{К}} = 80 \text{ м/с}$
частота обертання інструменту	$n = 12000 \text{ об/хв}$	$n = 12000 \text{ об/хв}$

Операцію 55 шліфувальну (попередню) виконаємо за два переходи. Перший перехід – шліфування поверхонь 25, 26. Другий перехід – шліфування поверхонь 23, 24.

Основні параметри різання при шліфуванні:

	Перехід 1	Перехід 2
глибина різання	$t = 0,03 \text{ мм}$	$t = 0,03 \text{ мм}$
подача	$S_{\text{ПР}} = 18 \text{ мм/об};$ $S_{\text{К}} = 20 \text{ об/хв.}$	$S_{\text{ПР}} = 18 \text{ мм/об};$ $S_{\text{К}} = 20 \text{ об/хв.}$
швидкість різання	$V_{\text{К}} = 80 \text{ м/с};$	$V_{\text{К}} = 80 \text{ м/с}$
частота обертання інструменту	$n = 10000 \text{ об/хв}$	$n = 10000 \text{ об/хв}$

Операцію 60 шліфувальну (чистову) виконаємо за два переходи. Перший перехід – шліфування поверхонь 25, 26. Другий перехід – шліфування поверхонь 23, 24.

Основні параметри різання при шліфуванні:

	Перехід 1	Перехід 2
глибина різання	$t = 0,05 \text{ мм}$	$t = 0,05 \text{ мм}$
подача	$S_{\text{ПР}} = 18 \text{ мм/об};$ $S_{\text{К}} = 20 \text{ об/хв.}$	$S_{\text{ПР}} = 18 \text{ мм/об};$ $S_{\text{К}} = 20 \text{ об/хв.}$
швидкість різання	$V_{\text{К}} = 80 \text{ м/с};$	$V_{\text{К}} = 80 \text{ м/с}$
частота обертання інструменту	$n = 12000 \text{ об/хв}$	$n = 12000 \text{ об/хв}$

3.2. Вибір обладнання, пристроїв, різальних та контрольних інструментів.

Таблиця 3.2 – Вибір засобів технологічного оснащення (ЗТО)

№ назва операції	Марка і назва обладнання	Пристосування	Ріжучий інструмент	Засоби контролю
00 Заготівельна	Горизонтально-ковочна машина ГKM	Штамп	-	Штангельциркуль Шц-1 (0-320) ГОСТ 166-63
05 Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний МР-71М	Лещата з призматичними губками ГОСТ4045-57, відкидний упор	Дискова фреза зі вставними ножами ВК8 Ø100 мм ГОСТ 6469-69, свердло -зенкер Ø 3,15-7 мм	Штангельциркуль Шц-1 (0-320) ГОСТ 166-63, калібр пробка
10 Токарна (чорнова Встановлення 1	Багаторізовий п/а 1Б732Ф3	Патрон поводковий ГОСТ 2572-53, центр, що обертається ГОСТ 8742-62	Різець прямий прохідний лівий ВК8 $\phi = 45^\circ$ ГОСТ 18869-73	Штангельциркуль Шц-1 (0-320) ГОСТ 166-63
10 Токарна (чорнова Встановлення 2	Багаторізовий п/а 1Б732Ф3	Патрон поводковий ГОСТ 2572-53, центр, що обертається ГОСТ 8742-62	Різець прямий прохідний лівий ВК8 $\phi = 45^\circ$ ГОСТ 18869-73, різець прямий підрізний лівий ВК 8 $\phi = 45^\circ$ ГОСТ 18871-73.	Штангельциркуль Шц-1 (0-320) ГОСТ 166-63
15 Токарна (чистова) Встановлення 1	Багаторізовий п/а 1Б732Ф3	Патрон повідковий ГОСТ 2572-53, центр, що обертається ГОСТ 8742-62	Різець прямий прохідний лівий ВК8 $\phi = 60^\circ$ ГОСТ 18878-73 різець прямий підрізний лівий ВК8 $\phi = 60^\circ$ ГОСТ 18880-73.	Штангельциркуль Шц-1 (0-320) ГОСТ 166-63, синусна лінійка ГОСТ 4046-61
15 Токарна (чистова) Встановлення 2	Багаторізовий п/а 1Б732Ф3	Патрон повідковий ГОСТ 2572-53, центр, що обертається ГОСТ 8742-62	Різець прямий прохідний лівий ВК8 $\phi = 60^\circ$ ГОСТ 18878-73 різець прямий підрізний лівий ВК8 $\phi = 60^\circ$ ГОСТ 18880-73.	Штангельциркуль Шц-1 (0-320) ГОСТ 166-63, синусна лінійка ГОСТ 4046-61

20 Фрезерна	Вертикально-фрезерний з ЧПУ 6P16PФЗ	Лещата з призматичними губками ГОСТ4045-57, упор	Кінцева монолітна твердосплавна фреза ВК8 ГОСТ 17870-85	Мікрометр (0-300мм) ГОСТ 6507-60
25 Фрезерна	Горизонтально-фрезерний з ЧПУ 6P82ГФЗ	Патрон з розподільною головкою ГОСТ 2472-53, центр ГОСТ 8742-62	Спеціальна профільна дискова фреза ВК8 Ø100 мм и Ø50 мм	Мікрометр (0-300мм) ГОСТ 6507-60, шаблони на пази
30 Свердлильна	Радіально-свердлильний 2М57	Лещата з призматичними губками ГОСТ4045-57, упор	Центрівка твердосплавна кутφ=90°	Штангельциркуль Шц-1 (0-320) ГОСТ 166-63
35 Термічна	Термопіч	-----	-----	Твердомір
40 Центрошліфувальна	Центрошліфувальний ZSM5100	Тиски з призматичними губками ГОСТ4045-57, упор	Шліфувальна головка з кутом конуса 60° ГК Э50СМ1Б,К ГОСТ 2447-64	Калібр-пробка
45 Торцекруглошліфувальна (попередня) Встановлення 1	Торцекруглошліфувальний 3Т160	Патрон повідковий ГОСТ 14903-69, центр, що обертається ГОСТ 8742-62	Круг шліфувальний ПП 24А12НСТ26Б ГОСТ 2424-67	Мікрометр (0-300мм) ГОСТ6507-60, синусна лінійка ГОСТ 4046-61
45 Торцекруглошліфувальна (попередня) Встановлення 2	Торцекруглошліфувальний 3Т160	Патрон повідковий ГОСТ 14903-69, центр, що обертається ГОСТ 8742-62	Круг шліфувальний ПП 24А12НСТ26Б ГОСТ 2424-67	Мікрометр (0-300мм) ГОСТ6507-60, синусна лінійка ГОСТ 4046-61

50 Торцекругло-шліфувальна (чистова) Встановлення 1	Торцекругло - шліфувальний ЗТ160	Патрон повідковий ГОСТ 14903-69, центр, що обертається ГОСТ 8742-62	Круг шліфувальний ПП 40А 12НСТ26Б ГОСТ 2424-67	Мікрометр (0-300мм) ГОСТ6507-60, синусна лінійка.
50 Торцекругло-шліфувальна (чистова) Встановлення 2	Торцекругло - шліфувальний ЗТ160	Патрон повідковий ГОСТ 14903-69, центр, що обертається ГОСТ 8742-62	Круг шліфувальний ПП 40А 12НСТ26Б ГОСТ 2424-67	Мікрометр (0-300мм) ГОСТ6507-60, Синусна лінійка.
55 Шліфувальна (попередня)	Шліфувальний з ЧПУ 3М163Ф2Н1 В	Патрон з розподільною головкою ГОСТ 2472-53, центр ГОСТ 8742-62	Круг шліфувальний ПП 24А12НСТ26Б ГОСТ 2424-67	Мікрометр (0-300мм) ГОСТ6507-60, шаблони на пази.
60 Шліфувальна (чистова)	Шліфувальний з ЧПУ 3М163Ф2Н1 В	Патрон з розподільною головкою ГОСТ 2472-53, центр ГОСТ 8742-62	Круг шліфувальний ПП 40А 12НСТ26Б ГОСТ 2424-67	Мікрометр (0-300мм) ГОСТ6507-60, шаблони на пази.
65 Мийна	Мийна машина Ocifel	-----	-----	-----
70 Контрольна	Контрольний стіл	-----	-----	Усі необхідні засоби контролю

3.3 Поелементне нормування робіт

У нашому випадку слід розрахувати норми часу на дві операції 15 Токарну (чистову) та на 30 Фрезерну

15 – Токарна (чистова):

Встановлення 1

Основний час T_0 - час безпосередньо на обробку, визначається за [8].

$$T_0 = 0,17 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = (0,00017 \cdot 70 \cdot 897) = 10,67 \text{ хв};$$

где 0,06 – перевстановлення деталі;

d – діаметр оброблюваної деталі;

l – довжина оброблюваної ділянки.

T_0 – допоміжний час на встановлення, включення та вимкнення верстата, вимірювання та організаційний час, визначається за [8]

$$T_d = 1,24 + 0,04 + 1,8 + 0,1 = 2,38 \text{ хв};$$

Штучний час $T_{шт}$ – час виконання операції, визначається підсумовуванням основного, допоміжного часу, час обслуговування і час відпочинку.

$$T_{шт} = 10,67 + 2,38 + 0,05 + 0,1 = 13,2 \text{ хв.}$$

Встановлення 2

$$T_0 = 0,17 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = (0,00017 \cdot 60 \cdot 330) = 3,37 \text{ хв};$$

$$T_d = 1,24 + 0,04 + 1,8 + 0,1 = 2,38 \text{ хв};$$

$$T_{шт} = 3,37 + 2,38 + 0,05 + 0,1 = 5,9 \text{ хв.}$$

Загальний штучний час $T_{штз}$ на операцію 15

$$T_{штз} = 13,2 + 5,9 = 19,1 \text{ хв.}$$

20 – Фрезерна:

Перехід 1

$$T_0 = 6 \cdot l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 78 \cdot 10^{-3} \cdot 6 = 3,01 \text{ хв};$$

$$T_d = 0,12 + 0,04 + 0,11 + 0,21 = 0,48 \text{ хв};$$

$$T_{шт} = 3,01 + 0,48 + 0,05 + 0,1 = 3,64 \text{ хв.}$$

Перехід 2

$$T_0 = 6 \cdot l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 205 \cdot 10^{-3} \cdot 6 = 7,38 \text{ хв};$$

$$T_d = 0,12 + 0,04 + 0,11 + 0,21 = 0,48 \text{ хв};$$

$$T_{шт} = 7,38 + 0,48 + 0,05 + 0,1 = 8,01 \text{ хв.}$$

Загальний штучний час на операцію 20

$$T_{штз} = 3,64 + 7,38 = 11,0 \text{ хв.}$$

На інші операції механічної обробки час призначаємо за довідковими матеріалами [6] при цьому, не ділячи операції на переходи та встановлення.

05 – Фрезерно-центрувальна: $T_0 = 1,08 \text{ хв}$; $T_d = 0,67 \text{ хв}$; $T_{шт} = 1,75 \text{ хв}$.

10 – Токарна (чорнова): $T_0 = 17,0 \text{ хв}$; $T_d = 2,10 \text{ хв}$; $T_{шт} = 19,1 \text{ хв}$.

25 - Фрезерна: $T_0 = 5,73$ хв; $T_D = 0,96$ хв; $T_{ШТ} = 7,0$ хв.

30 - Свердлильна: $T_0 = 0,5$ хв; $T_D = 0,6$ хв; $T_{ШТ} = 1,1$ хв.

40 – Центрошліфувальна: $T_0 = 0,08$ хв; $T_D = 0,67$ хв; $T_{ШТ} = 0,75$ хв.

45 – Торцекруглошліфувальна (попередня):

$T_0 = 6,08$ хв; $T_D = 1,6$ хв; $T_{ШТ} = 7,68$ хв.

50 – Торцекруглошліфувальна (чистова):

$T_0=5,58$ хв; $T_D=1,6$ хв; $T_{ШТ}=7,18$ хв.

55 –Шліфувальна (попередня): $T_0 = 5,58$ хв; $T_D = 2,28$ хв; $T_{ШТ} = 7,86$ хв.

60 –Шліфувальна (чистова): $T_0 = 2,96$ хв; $T_D = 2,28$ хв; $T_{ШТ} = 5,24$ хв.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Техніко-економічний аналіз

Для остаточного вибору методу отримання заготовки слід провести порівняльний аналіз з технологічної собівартості.

Розрахунок технологічної собівартості заготовки одержувану, яку отримують за першим або другим методом проведемо за такою формулою (4.1):

$$C_T = C_{\text{заг.}} \cdot M + C_{\text{мех.}} \cdot (M-m) - C_{\text{отх.}} \cdot (M-m), \text{ грн} \quad (4.1)$$

где M – маса заготовки, кг;

m – маса деталі, кг;

$C_{\text{заг.}}$ – вартість одного кілограму заготовок, грн/кг;

$C_{\text{мех.}}$ – вартість механічної обробки, грн/кг;

$C_{\text{отх.}}$ – вартість одного кілограму відходів, грн/кг.

Вартість заготівки, отриманої такими методами, як лиття в земельні форми та штампування на кривошипних гаряче-штампувальних пресах, з достатньою для стадії проектування точністю можна визначити за формулою (4.2)

$$C_{\text{заг.}} = C_{\text{вил.}} \cdot h_T \cdot h_C \cdot h_B \cdot h_M \cdot h_{\Pi}, \text{ грн/кг} \quad (4.2)$$

где $C_{\text{вил.}}$ – базова вартість одного кілограма заготівлі, руб./кг;

h_T – коефіцієнт, що враховує точність заготівлі;

h_C – коефіцієнт, що враховує складність заготівлі;

h_B – коефіцієнт, що враховує масу заготівлі;

h_M – коефіцієнт, що враховує матеріал заготівлі;

h_{Π} – коефіцієнт, що враховує групу серійності.

Для отримання заготовки методом лиття значення коефіцієнтів у формулі (2.7):

$h_T = 1,06$ - перший клас точності;

$h_C = 0,7$ – перша група складності отримання заготовки;

$h_B = 0,93$ – для маси заготівлі, яка знаходиться в межах 3...10,0 кг;

$h_M = 1,21$ – для вуглецевої сталі;

$h_{II} = 1$ - третя група серійності;

Базова вартість одного кілограма виливків складає $C_{вил} = 4,00$ грн.

$$C_{заг.} = 4,00 \cdot 1,06 \cdot 0,7 \cdot 0,93 \cdot 1,21 \cdot 1 = 3,34 \text{ грн/кг}$$

Визначаємо вартість механічної обробки за формулою (4.3):

$$C_{мех} = C_c + E_M \cdot C_K, \text{ грн/кг} \quad (4.3)$$

де $C_c = 0,495$ – поточні витрати на один кілограм стружки, грн/кг;

$E_M = 0,1$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень
вибираємо з межі (0,1 ... 0,2);

$C_K = 1,085$ – капітальні витрати на один кілограм стружки, грн/кг;

$$C_{мех} = 0,495 + 0,1 \cdot 1,085 = 0,6035 \text{ грн/кг}$$

Вартість одного кілограма відходів приймаємо рівною $C_{відх} = 1,96$ грн/кг

Визначимо загальну вартість заготовок, що отримується за методом лиття:

$$C_T = 3,34 \cdot 110,1 + 0,6035 \cdot (110,1 - 62,5) - 1,96 \cdot (110,1 - 62,5) = 320 \text{ грн.}$$

Для заготівлі, одержуваної методом штампуванням на кривошипних гарячештампувальних пресах, значення коефіцієнтів у формулі (4.4) наступні:

$$C_{заг.} = C_{штг} \cdot h_T \cdot h_C \cdot h_B \cdot h_M \cdot h_{II}, \text{ грн/кг} \quad (4.4)$$

де $h_T = 1,05$ – перший клас точності;

$h_C = 0,75$ – перша група складності отримання заготовки;

$h_B = 0,87$ – так як маса заготовки знаходиться в межах 4 ... 10 кг;

$h_M = 1$ – оскільки сталь вуглецева;

$h_{II} = 1$;

Базова вартість одного кілограма штампувань складає $C_{шт} = 5,30$ грн/кг

$$C_{заг.} = 5,30 \cdot 1,05 \cdot 0,75 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 1 = 3,631 \text{ грн/кг}$$

Визначаємо загальну вартість заготівлі, що отримується штампуванням:

$$C_T = 3,63 \cdot 78,29 + 0,6035 \cdot (78,29 - 62,5) - 0,0144 \cdot (78,29 - 62,5) = 293 \text{ грн.}$$

Таким чином, за технологічною собівартістю найбільш економічним є варіант виготовлення деталі із заготівлі, отриманої штампуванням.

Очікувана річна економія:

$$E_{рік} = (C_{T2} - C_{T1}) \cdot N, \text{ грн.}$$

де N – річна програма випуску деталей, шт.;

$$E_{рік} = (320 - 293) \cdot 10000 = 270\,000 \text{ грн}$$

Таким чином, виходячи з порівняння технологічної собівартості за аналізованим варіантам робимо висновок у тому, що з подальшої розробки слід вибрати спосіб отримання заготівлі штампуванням. У цьому випадку річна економія складе 270 000 грн.

4.2. Охорона праці

Охорона праці у машинобудуванні є надзвичайно важливою з точки зору забезпечення безпеки працівників та попередження можливих травм або аварійних ситуацій. Оскільки машинобудівна промисловість пов'язана з великою кількістю механічних, електричних та хімічних процесів, різноманітні ризики для здоров'я і

безпеки працівників можуть бути високими.

Нижче наведені деякі основні аспекти охорони праці, які зазвичай враховуються в машинобудуванні:

Організація робочого місця: Забезпечення правильної організації робочого місця, включаючи належне розташування обладнання, інструментів та матеріалів для зменшення ризиків травм.

Навчання та підготовка: Забезпечення навчання та підготовки працівників з правил безпеки, правильного використання обладнання та реагування на небезпечні ситуації.

Використання захисного обладнання: Застосування відповідного захисного обладнання, такого як захисні шоломи, окуляри, відбитки тощо.

Моніторинг ризиків: Постійний моніторинг ризиків на робочому місці, включаючи оцінку потенційних небезпек та прийняття заходів для їх запобігання.

Безпека обладнання: Регулярна перевірка та обслуговування обладнання для забезпечення його безпеки та правильної роботи.

Електробезпека: Дотримання правил електробезпеки, включаючи правильне встановлення та експлуатацію електрообладнання.

Пожежна безпека: Дотримання вимог щодо пожежної безпеки, включаючи правильне зберігання та використання легкозаймистих матеріалів та речовин.

На кожному підприємстві у сфері машинобудування слід приділяти важливу увагу таким питанням:

- недопущення прихованого травматизму та недопущення порушення термінів проведення розслідувань виробничого травматизму;
- безпека під час експлуатації обладнання, машин і механізмів, деталі яких рухаються та/або обертаються;
- безпека під час опалювального сезону;
- надання першої долікарської допомоги у разі нещасного випадку на виробництві.

Про надання домедичної допомоги. Особливої уваги при навчанні персоналу

слід приділяти темі надання домедичної допомоги постраждалим при масивній зовнішній кровотечі (термін «масивна зовнішня кровотеча» вживається у такому значенні – це невідкладний стан, який супроводжується значним витіканням крові з ран кінцівок, пахових, підпахвових ділянок, сідниць та шиї, незалежно від механізму отримання травми).

Ознаками масивної зовнішньої кровотечі є будь-що з нижченаведеного:

- 1) швидке, інтенсивне витікання крові з рани;
- 2) пульсуючий характер кровотечі (кров б'є фонтаном);
- 3) пляма крові біля постраждалого, яка швидко збільшується;
- 4) значне просякнення одягу постраждалого кров'ю;
- 5) повна чи часткова ампутація кінцівки вище рівня кисті чи ступні;
- 6) порушення або втрата свідомості у постраждалого без ознак черепно-мозкової травми, при наявності зовнішньої кровотечі;
- 7) ознаки порушення перфузії: бліда шкіра, холодні кінцівки тощо, при наявності зовнішньої кровотечі.

Послідовність дій при наданні домедичної допомоги постраждалим при масивній зовнішній кровотечі

- 1) переконатися у відсутності небезпеки;
- 2) покликати на допомогу оточуючих. Якщо випадкових свідків декілька слід звертатись до конкретної особи;
- 3) за наявності, перед початком надання домедичної допомоги використати засоби індивідуального захисту: рукавички, маска, захист очей;
- 4) при кровотечі з рани кінцівки та з можливістю її чіткої візуалізації:
 - а) здійснити максимально можливий тиск на рану руками;
 - б) накласти пов'язку, що тисне та оцінити її ефективність;
 - в) якщо кровотеча зупинилась:
 - заспокоїти постраждалого;
 - здійснити виклик екстреної медичної допомоги та дотримуватись вказівок диспетчера прийому виклику;

г) якщо кровотеча не зупинилась, накласти кровоспинний джгут:

- кровоспинний джгут з можливістю створення додатково тиску слід накладати на відстані 5-7 см вище рани;
- якщо кровотеча зупинена, записати точний час накладання кровоспинного джгута безпосередньо на кровоспинному джгуті або іншому видимому місці. Якщо немає можливості записати час накладання кровоспинного джгута інформацію слід передати медичним працівникам та впевнитись, що час зафіксовано в медичній документації;

Ці заходи допомагають забезпечити безпеку та здоров'я працівників у машинобудівній промисловості.

4.3. Охорона навколишнього середовища

Утворення та утилізація відходів є важливою складовою процесу охорони навколишнього середовища в машинобудуванні. Для мінімізації відходів та їх ефективної утилізації можуть бути застосовані наступні підходи:

- мінімізація відходів - важливим аспектом є мінімізація відходів на етапі виготовлення валу. Це може бути досягнуто за допомогою оптимізації виробничих процесів, використанням точних технологій обробки матеріалів та управління відходами;
- переробка відходів - деякі відходи, які утворюються під час обробки валу, можуть бути піддані переробці для використання у виробничих процесах або в інших сферах промисловості;
- вторинне використання - деякі відходи можуть бути перероблені та використані як вторинні матеріали у виробництві валів або в інших промислових процесах;
- енергетичне використання - деякі відходи можуть бути використані для виробництва енергії через процеси спалювання або біогазифікації;
- впровадження програми вторинного використання і утилізації -

підприємство може розробити програми для збору та використання відходів з метою їх подальшого використання або утилізації в екологічно безпечний спосіб;

- стандартизація та впровадження найкращих практик - важливою є розробка стандартів та впровадження найкращих практик управління відходами для забезпечення ефективності та сталості процесу.

Ці підходи допомагають зменшити негативний вплив виробництва валів на навколишнє середовище та сприяють створенню більш сталого виробничого процесу.

Машинобудування може бути досить ресурсоємною галуззю, але існує кілька способів мінімізації відходів:

- оптимізація виробничих процесів – аналіз і оптимізація виробничих процесів може допомогти зменшити кількість відходів, які утворюються під час виготовлення компонентів;

- використання точних технологій обробки – використання точних технологій обробки матеріалів дозволяє зменшити втрати матеріалу під час виробництва;

- вторинне використання матеріалів – підприємства можуть використовувати вторинні матеріали, отримані з відходів, для виробництва нових компонентів або продуктів;

- продуктовий дизайн з урахуванням утилізації – розробка продуктів з урахуванням можливості їх подальшої утилізації або переробки може зменшити кількість відходів, які утворюються під час їхнього життєвого циклу;

- утилізація відходів – розробка ефективних систем утилізації відходів дозволяє переробляти відходи у корисні ресурси або енергію;

- ефективне управління відходами – застосування систем управління відходами дозволяє підприємствам ефективно контролювати та мінімізувати утворення відходів на всіх етапах виробництва.

Ці способи допомагають машинобудівним підприємствам зменшити

негативний вплив їхньої діяльності на навколишнє середовище та підвищити ефективність виробничих процесів.

Утилізація відходів у машинобудуванні може включати різноманітні методи та технології залежно від типу відходів та їх властивостей. Ось деякі типові види утилізації відходів в цій галузі:

- переробка відходів у вторинні матеріали – деякі відходи, які утворюються під час виробництва машин, можуть бути перероблені у вторинні матеріали, які потім можуть бути використані у виробництві нових компонентів або продуктів;

- енергетична утилізація – деякі відходи можуть бути використані для виробництва енергії через процеси спалювання, біогазифікації або інших технологій;

- механічна переробка – великі відходи, такі як складні компоненти або відпрацьоване обладнання, можуть бути піддані механічній переробці для виділення цінних матеріалів або компонентів;

- хімічна переробка – деякі хімічні відходи можуть бути піддані хімічній переробці для відновлення корисних речовин або матеріалів;

- компостування – органічні відходи, такі як рослинні матеріали або біологічні відходи, можуть бути піддані процесу компостування для виробництва добрив або біогазу;

- утилізація води та водних відходів – процеси очищення стічних вод та використання технологій відновлення води можуть допомогти утилізувати водні відходи та зменшити негативний вплив на довкілля.

Ці методи допомагають машинобудівним підприємствам зменшити кількість відходів, що викидаються на смітник або в природу, та забезпечують більш стале та екологічно безпечне виробництво.

ВИСНОВКИ

В ході роботи були виконані всі завдання кваліфікаційної роботи.

✓ Проаналізовано службове призначення вузла, здійснено аналіз точності. Здійснено вибір типу виробництва, форми організації технологічного процес виготовлення деталей. Здійснено вибір методу отримання заготовки. Проаналізовані та розраховані припуски за допомогою розмірного аналізу та розрахунково-аналітичним методом

✓ Охарактеризовано конструкційні матеріали, що застосовуються для виготовлення валу ступінчастого для редуктора.

✓ Здійснено аналіз та підбір технологічного маршруту виготовлення валу ступінчастого; технологічного маршруту обробки поверхні; технологічної схеми базування.

✓ Здійснено підбір обладнання та пристроїв для технологічної обробки.

✓ Проведено порівняльний аналіз з технологічної собівартості.

✓ Розглянуто вимоги охорони праці та вимоги до захисту навколишнього середовища при конструюванні валу.

При виконанні кваліфікаційної роботи, були закріплені знання з машинобудування, у сфері конструювання та технологізації виробів.

В результаті розроблений технологічний проект виявився економічно ефективним.