

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

на тему:

Удосконалення технології отримання заготовки і виготовлення деталі типу
«Корпус А12.54» з використанням CALS-технології
08-26.МКР.024.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, групи 2ПМ-18м
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

Токар Б.О. _____

Керівник: к.т.н., проф. каф. ТАМ

Буренніков Ю.А. _____

«___» _____ 20__ р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. АТМ

«___» _____ 20__ р.

Вінниця ВНТУ - 2019 року

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень – «Магістр»
Спеціальність 131 – «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ
д.т.н., професор Козлов Л.Г.

«04» жовтня 2019 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Токар Богдан Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи (МКР): _____ Удосконалення технології отримання заготовки і виготовлення деталі типу «Корпус А12.54» з використанням CALS-технології

керівник МКР Буренніков Ю.А.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «2» жовтня 2019 року №254.

2. Строк подання студентом МКР: 16 грудня 2019

3. Вихідні дані до МКР: креслення деталі корпус А12.54

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

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

6. Консультанти розділів МКР

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видано	завдання виконано
Спеціальна частина	Буренніков Ю.А.		
Економічна частина	Кавецький В.В,		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Віштак І.П.		

7. Дата видачі завдання «04» жовтня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	10.10.2019	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	20.10.2019	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	22.10.2019	
4	Розв'язання поставлених задач	28.11.2018	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	02.12.2019	
6	Виконання розділу «Економічна частина»	02.12.2019	
7	Виконання розділу «Охорона праці безпека в надзвичайних ситуаціях»	02.12.2019	
8	Попередній захист МКР	6.12	
9	Перевірка роботи на плагіат	4.12	
10	Нормоконтроль МКР	12.12	
11	Рецензування МКР	16.12	
12	Захист МКР	20.12	

Студент _____
 Керівник МКР _____

АНОТАЦІЯ

Токар Б.О. Удосконалення технології отримання заготовки і виготовлення деталі типу «Корпус А12.54» з використанням CALS-технології. – Вінниця: ВНТУ, кафедра ТАМ, 2019 - 120с. РПЗ, 10 аркушів формату А1.

В даній роботі було виконано модернізацію технологічного процесу механічної обробки для збільшення твердості поверхневого шару і зменшення шорсткості завдяки удосконалення процесу фінішної обробки деталей поверхневим пластичним деформуванням, а саме: проведено аналіз конструкції і технологічності деталі, вибрано спосіб виготовлення заготовки, спроектовано модернізований маршрут механічної обробки деталі на верстатах з ЧПК з розробкою змісту операцій, на фінішну операцію обрано спосіб поверхневої пластичної деформації, здійснено розмірний аналіз технологічного процесу та встановлені технологічні розміри, розміри припусків та заготовки, визначено режими різання, спроектована дільниця механічної обробки; досліджено напружено-деформований стан в осередку деформації та його залежність від конструктивних та технологічних характеристик процесу; розроблені заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях на дільниці механічної обробки. Розроблена графічна частина.

ABSTRACT

Tokar B.O. Improvement of the technology of preparation of workpiece and production of details of type "Corpus A12.54" using CALS-technology. - Vinnytsia: VNTU, department there, 2019 - 120s. RPZ, 10 sheets of A1 format.

In this work, modernization of the technological process of mechanical processing was performed to increase the hardness of the surface layer and reduce roughness due to the improvement of the process of finishing the parts by surface plastic deformation, namely: analysis of the design and machinability of the part, the method of manufacturing the workpiece was selected, the modernized route of machining of the part was designed on CNC machines with the development of maintenance operations the analysis of the design and machinability of the part, the method of manufacturing the workpiece was chosen, the modernized route of mechanical processing of the part on the CNC machine tools was designed with the development of the maintenance of the operations, the method of surface plastic deformation was chosen for the finishing operation, the dimensional analysis of the technological process was made and the technological dimensions, sizes of allowances and workpieces, the cutting modes are determined, the machining section is designed; the stress-strain state in the deformation cell and its dependence on the structural and technological characteristics of the process are investigated; developed measures for occupational safety and emergency in emergency situations at the machining station. The graphic part is developed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ППД НА СТУПІНЬ ЗМІЦНЕННЯ ТА ВИКОРИСТАНИЙ РЕСУРС ПЛАСТИЧНОСТІ	10
1.1 Використаний ресурс пластичності при розкочуванні отвору	10
1.2 Вплив параметрів процесу ППД на технологічну спадковість	15
1.3 Напружено-деформований стан в осередку деформації	21
1.4. Висновки	21
2 РОЗРОБКА МАРШРУТУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	26
2.1 Визначення типу виробництва і форми організації роботи	26
2.2 Аналіз конструкції і технологічності деталі	32
2.3 Вибір способу виготовлення заготовки	36
2.4 Аналітичний огляд відомих маршрутів механічної обробки подібних деталей в умовах даного типу виробництва	46
2.4 Вибір способів механічної обробки поверхонь із підвищеними вимогами точності визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні	49
2.5 Вибір чистових і чорнових технологічних баз	50
2.6 Проектування маршруту механічної обробки з розробкою змісту операцій, попереднім вибором верстатів	53
2.7 Розмірний аналіз технологічного процесу	57
2.8 Розрахунок проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні	62
2.9 Визначення режимів різання на обробку конструкторських баз і кріпильних отворів	67
2.10 Визначення технічних норм часу для всіх операцій	70
2.11 Проектування ділянки механічної обробки	72
2.12 Висновки	80

3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	81
3.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки.....	81
3.2 Прогноз попиту на інноваційне рішення.....	84
3.3 Вибір каналів збуту та після продажного обслуговування.....	86
3.4 Виявлення основних конкурентів.....	88
3.5 Обрання методу ціноутворення.....	90
3.6 Оцінка рівня якості інноваційного рішення.....	94
3.7 Оцінка конкурентоспроможності інноваційного рішення.....	96
3.8 Прогнозування витрат на виконання роботи.....	98
3.9 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	100
3.10 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	102
3.11 Висновки.....	103
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ	104
4.1 Аналіз умов праці.....	104
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	108
4.2 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи.....	110
4.4 Дослідження стійкості роботи обладнання дільниці механічної обробки в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій...	112
4.5 Висновки.....	114
ВИСНОВКИ.....	119
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ	
ДЖЕРЕЛ.....	120
ДОДАТКИ	

ВСТУП

При виготовленні заготовок методами обробки металів тиском, особливо при освоєнні нових технологій, на поверхні або в середині деформуємого металу можуть виникати макротріщини. В таких випадках продукція вважається бракованою. Можливі також випадки, коли запас пластичності металу дуже мало використовується. Внаслідок чого мають місце значні виробничі витрати. Крім того, при розробці нових технологій не завжди відомі шляхи, як запобігти утворенню тріщин, а також ускладнена експертна оцінка придатності даного технологічного процесу для виготовлення бездефектної продукції.

Для деяких видів продукції недопустиме створення навіть мікродфектів, оскільки це може призвести до погіршення експлуатаційних характеристик. В зв'язку з цим важливими є задачі дослідження кінетики пластичного розпушення, формування критерію макроруйнування металу та вибір на цій основі оптимальних умов процесу пластичного формозмінення. Тому актуальною залишається проблема розробки процесів ОМТ, в яких не виникають порушення суцільності в матеріалі деформуємої заготовки.

Актуальність теми

Важливу роль у підвищенні продуктивності праці відіграє правильна організація виробництва, впровадження передових методів і нових технологій обробки деталей, використання ефективних заходів щодо матеріало- та енергоощадності, а також раціональність вибору технологій виготовлення виробів. Одним із найбільш перспективних методів підвищення ступеня зміцнення машин є обкатка роликком

Метою роботи метою магістерської кваліфікаційної роботи є модернізація технологічного процесу механічної обробки для зниження технологічної собівартості завдяки застосуванню сучасних технологій і нових методів обробки заготовок.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідження процесу розкочування поверхонь корпусу і розробка рекомендацій по вибору інструменту і режимів обробки для розкочування.
- варіантний вибір способу виготовлення заготовки;
- проектування маршруту механічної обробки з використанням сучасних верстатів з ЧПК;
- дослідження процесу розкочування поверхонь і виявлення залежності остаточної напруженості від параметрів процесу і конструкції інструменту.

Об'єкт дослідження: процес розкочування поверхонь деталей роликів.

Предмет дослідження: Основні закономірності і методики розрахунку механізмів формування напружено-деформованого стану і основних показників якості деталей при їх розкочуванні.

Методи дослідження. Методи теорії розмірних ланцюгів, які дозволили виконати розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу, проаналізувати варіанти і провести точнісні розрахунки верстатного пристосування; метод лінійного програмування (симплекс-метод), який дозволив визначити оптимальні режими різання; методи теорії автоматичного керування; метод імітаційного моделювання; метод імітаційного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів Наукову новизну роботи складають результати досліджень характеристик процесу розкочування.

Практичне значення одержаних результатів: полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки, а зокрема фінішної операції заготовки деталі типу «Корпус»; при цьому запропоновані такі нові рішення:

- розроблений оригінальний технологічний процес механічної обробки, економічні розрахунки показали, що впровадження удосконаленого

технологічного процесу потребує від інвестора вкладень термін окупності яких складає 2,4 року;

- для фінішної обробки запропоновано обробка розкочуванням, що дозволило збільшити твердість поверхневого шару, зменшити шорсткість.

Особистий внесок здобувача. Основні результати досліджень отримані автором самостійно. Мета та завдання досліджень узгоджені з науковим керівником. В працях, що опубліковані у співавторстві автору належать: дослідження напружено-деформованого стану від параметрів процесу.

Апробація результатів. Основні матеріали роботи розглядались на науково технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи».

Публікації. Матеріали магістерської кваліфікаційної роботи були опубліковані в тезах науково-технічної конференції [1] .

1 ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПІД НА СТУПІНЬ ЗМІЩЕННЯ ТА ВИКОРИСТАНИЙ РЕСУРС ПЛАСТИЧНОСТІ

1.1 Використаний ресурс пластичності при розкочуванні отвору

При виготовленні заготовок методами обробки металів тиском, особливо при освоєнні нових технологій, на поверхні або в середині деформуємого металу можуть виникати макротріщини. В таких випадках продукція вважається бракованою. Можливі також випадки, коли запас пластичності металу дуже мало використовується. Внаслідок чого мають місце значні виробничі витрати. Крім того, при розробці нових технологій не завжди відомі шляхи, як запобігти утворенню тріщин, а також ускладнена експертна оцінка придатності даного технологічного процесу для виготовлення бездефектної продукції.

Для деяких видів продукції недопустиме створення навіть мікродефектів, оскільки це може призвести до погіршення експлуатаційних характеристик. В зв'язку з цим важливими є задачі дослідження кінетики пластичного розпушення, формування критерію макроруйнування металу та вибір на цій основі оптимальних умов процесу пластичного формозмінення. Тому актуальною залишається проблема розробки процесів ОМТ, в яких не виникають порушення суцільності в матеріалі деформуємої заготовки.

Відомо, що пластична деформація металу супроводжується його розпушенням [52], яке можна оцінити залишковим відносним збільшенням об'єму. Так як зміна об'єму мала, то в практичних розрахунках використовувати значення пластичного розпушення як міру пластичності дуже важко. Крім того, задача ускладнюється тим, що експериментальні вимірювання зміни елементарних об'ємів в пластичній області практично неможливі.

Тому, виходячи із припущення про існування зв'язку між пластичним розпушенням і накопиченою пластичною деформацією в якості міри

пластичності, в більшості випадків, використовують накопичену до моменту руйнування пластичну деформацію [36, 53,54]

$$e_p = \int_0^{t_p} \dot{\epsilon}_u dt, \quad (1.1)$$

де $\dot{\epsilon}_u$ - інтенсивність швидкостей деформацій,

t_p – час деформування до руйнування.

Відомо, що величина граничної деформації e_p залежить від виду напруженого стану. С.І. Губкін першим запропонував ідею побудови діаграм пластичності, які відтворюють залежність пластичності даного металу від показника η , який характеризує напружений стан [55]

$$\eta = \frac{I_1(T_\sigma)}{\sqrt{3I_2(D_\sigma)}} = \frac{3\sigma}{\sigma_u}, \quad (1.2)$$

де $I_1(T_\sigma)$ – перший інваріант тензора напружень, $I_2(D_\sigma)$ – другий інваріант девіатора напружень, $\sigma = \frac{1}{3} \sigma_{ij} \delta_{ij}$ – середнє напруження, σ_u – інтенсивність напружень.

Показник η був також використаний для оцінки пластичності В.А. Бабічковим і для побудови діаграм пластичності в координатах e_p - η Г.А. Смирновим-Аляєвим. Вперше критерій руйнування, оснований на використанні діаграми пластичності запропонував Г.А. Смірнов-Аляєв. Він вважав, що пластична деформація проходить без руйнування, якщо ступінь деформації довільної частинки матеріалу не перевищує граничну деформацію при відповідному напруженому стані

$$\psi = \frac{e_u}{e_p(\eta)} < 1, \quad (1.3)$$

де $e_p(\eta)$ – діаграма пластичності,

ψ – використаний ресурс пластичності.

Критерій (1.4) відносно простий, але в ньому не враховується вплив історії деформування. В.Л. Колмогоров вперше отримав критерій руйнування, в якому використана гіпотеза про пропорційну залежність густини пошкоджень від ступеня деформації [4]

$$\psi = \int_0^t \frac{\dot{\epsilon}_u d\tau}{e_p(\eta)} < 1. \quad (1.4)$$

Якщо для точки, яка розглядається, показник $\eta = \text{const}$, то з урахуванням того, що ступінь деформації e_u дорівнює

$$e_u = \int_0^t \dot{\epsilon}_u d\tau \quad (1.5)$$

Критерій (1.5) зводиться до критерію (1.4).

Виходячи із нелінійної теорії накопичення пошкоджень, Г.Д. Дель, В.А. Огородніков, В.Г. Нахайчук запропонували критерій здеформованості в вигляді [59]

$$\psi = \int_0^{e_u^*} n \frac{e_u^{n-1} de_u}{e_p(\eta)^n} < 1, \quad (1.6)$$

де $n = 1 + 0.2 \arctg \frac{d\eta}{de_u}$.

Якщо в точці $\eta = \text{const}$, то $\frac{d\eta}{de_u} = 0$ і критерій (1.6) переходить в (1.4).

В роботах В.А. Огороднікова, Ю.Г. Важенцева, А.А. Богатова, С.В. Смірнова, О.В. Нахайчука, І. О. Сивака показано, що залежність

пластичності від схеми напруженого стану характеризується двома показниками напруженого стану. В.А. Огородніков вважає, що при об'ємному напруженому стані на пластичність впливає третій інваріант тензора напружень. В роботах в якості другого показника напруженого стану використано параметр Надаї-Лоде. Такий підхід дозволив отримати позитивні результати при розробці ряду процесів обробки металів тиском, які реалізуються в умовах об'ємного напруженого стану. Однак в розглянутих роботах немає єдиної точки зору по питанням побудови поверхонь граничних деформацій, а тому, в основному, задача зводиться до внесення певних доповнень та поправок до діаграм пластичності. В роботі [63] отримано критерій пластичності, який за своєю структурою подібний критерію (1.7), але залежність пластичності від схеми напруженого стану в цьому критерії задається поверхнею граничних деформацій в координатах: гранична деформація e_p , показник напруженого стану η , параметр Надаї-Лоде μ_σ

$$\psi = \int_0^{e_u^*} n \frac{e_u^{n-1} de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)^n} < 1, \quad (1.7)$$

$$\text{де } n = 1 + a \frac{d\eta}{de_u} - b \frac{d\mu_\sigma}{de_u},$$

a, b – сталі, які залежать від матеріалу,

$e_p(\eta, \mu_\sigma)$ – поверхня граничних деформацій.

Достовірність розрахунків граничних деформацій по критерію (1.8) вища, ніж по критеріям (1.5), (1.7), особливо при об'ємному напруженому стані. Основний недолік критерію (1.8) полягає в тому, що для побудови поверхні граничних деформацій $e_p(\eta, \mu_\sigma)$ необхідні досить складні і трудомісткі експериментальні дослідження.

Критерії руйнування (1.4), (1.5), (1.7), (1.8) називають деформаційними, оскільки в них за міру пластичності прийнято граничну деформацію e_p

Формування поверхневого шару здійснюється в результаті пластичного (течення), що відбувається в умовах знакоперемінної деформації при декількох несиметричних і неоднакових циклах навантаження. Тому параметри механічного стану поверхневого шару, в тому числі і степінь вичерпання ресурса пластичності, для запобігання значної помилки повинні визначатися з врахуванням складної історії навантаження і можливого заліковування дефектів металу при переміні знаку деформації.

Для розрахунку ресурсу пластичності необхідно встановити:

- траєкторію руху частинки поверхневого шару відносно інструменту;
- програму навантаження частинки, що відображає зміну вздовж траєкторії руху інтенсивності деформації зсуву і показника напруженого стану η ;
- залежність граничної пластичності металу від параметрів напруженого стану (діаграму пластичності металу).

Розрахунок степені використаного ресурсу пластичності здійснюється по різним моделям руйнування металу. Результати розрахунку залежать від використовуваної моделі.

При розрахунку напруженого і деформованого стану очага деформації при обкатуванні роликом було встановлено, що деформування має немонотоний характер, але всю історію навантаження можна розбити на три зони, в кожній з яких деформація близька до монотонної. Це позаконтактна зона перед інструментом, контактна зона під інструментом і позаконтактна зона за інструментом. На границях цих зон змінюється вид деформації і умова монотонності процесу в цілому порушується, що може призвести до зменшення інтенсивності росту використаного ресурсу пластичності. Це зменшення можна врахувати за допомогою коефіцієнта α :

$$\psi = \sum \left[\frac{e_u}{e_{pj}(\eta_j)} \right]^{\alpha_j(\eta_j)} \quad (1.8)$$

де j – номер монотонного етапу деформування.

Значення коефіцієнта α залежить від показника напруженого стану. Враховуючи складність врахування цієї залежності при розрахунках використаного ресурсу пластичності значення α приймають постійним для кожної ділянки монотонного навантаження.

1.2 Вплив параметрів процесу ППД на технологічну спадковість

Поверхнєве пластичне деформування призводить до значного підвищення характеристик конструктивної міцності деталей машин, виготовлених зі сталей, чавуну, кольорових металів та сплавів; втомлювальної міцності, контактної витривалості, контактної жорсткості, зносостійкості, корозійної стійкості та ряду інших.

В табл. 1.1 приведені результати дослідження мало циклової втомлюваності гладеньких зразків на базі 8-10 цикл / хв (14). Як видно з табл. 1.2., ППД дає суттєве підвищення довговічності в порівнянні із шліфуванням, причому найбільше підвищення довговічності (в 3-7,5 разів) було досягнуто при обкатуванні роликом.

Особливо ефективним є застосування обробки ППД деталей із різноманітними концентратами напружень. Збільшення границі витривалості при багатоцикловій втомлюваності тим вищі, чим більша концентрація напружень. В такому випадку ППД, як зміцнюючий метод обробки має перевагу у порівнянні з термічними і хімічно-термічними методами.

Існують експериментальні роботи, що вказують на підвищення контактної витривалості деталей після обробки ППД. Зміцнення зразків зі сталі 20ХНЗА шариком, діаметр якого 10 мм, при тискові 280 кгс/мм² підвищили їхню довговічність при терті кочення на 34-50 % в порівнянні зі шліфованими після цементації і термічної обробки зразками (16).

Таблиця 1.1 - Довговічність зразків в залежності від методу обробки

Спосіб обробки	Число циклів до руйнування при σ_{\max}				
	1360 МПа			1000 МПа	
	30ХГСА	08Х17Т	ВКС2Ю	ВНС5	ВНС2
Шліфування	7400	6900	7400	20750	19280
Віброшліфування	19100	19700	30000	-	53650
Вібронаклеп	21000	20300	22800	96300	105100
Обдування дроб'ю	24000	22300	-	76300	-
Пневмодинамічний наклеп	-	35500	48400	88700	-
Обкатка роликком	24500	42000	>1000000	44000	150000
Алмазне вигладжування	-	-	35161	180000	-
Обдування металічним піском	12500	11200	21000	70000	85040
Обдування кварцовим піском	-	-	-	-	48500

Л.І. Маркусом встановлено, що зразки, виготовлені зі сталі ШХ15 і зміцненні алмазним вигладжуванням, більш довговічні (при 50%-ній можливості руйнування – в 1,7, а при 10%-ній – в 3,5 рази), ніж зразки, оброблені суперфінішуванням (12).

Відомо, що різноманітні корозійні середовища чинять негативний вплив на втомну міцність деталей. Дослідженнями багатьох учених встановлено, що обробка ППД сприяє усуненню дії агресивних середовищ на

втомну міцність. Наприклад, накатування сталі 40Х дозволило повністю ліквідувати вплив корозійного ефекту; деталь мала одну і ту ж границю стійкості при дослідженні на повітрі та у воді (12). Про це ж саме свідчать результати, приведені в табл. І.3 (18).

Сьогодні не підлягає сумніву ефективність ППД як методу підвищенні зносостійкості деталей, що працюють в умовах тертя зі змащуванням. В даному випадку зменшується тривалість роботи і, відповідно, початкове зношування в період роботи за рахунок створення оптимального мікрорельєфа поверхневого шару деформаціям.

Таблиця 1.2 - Вплив поверхневого зміцнення на втомленість на повітрі та в прісній воді сталей 30ХГСНА і ЄІ643

Вид обробки поверхні	σ_{-1} , кгс/мм ²				Клас шорсткості	Знімаючі залишкові напруження, кгс/мм ²
	30ХГСНА		ЭІ643			
	повітря	вода	повітря	вода		
Шліфування	62	8	70	12	7	50
Віброшліфування	73	20	78	25	6	80
Наклеп дроб'ю	70	50	83	70	5,6	130
Обдування металічним піском	67	40	75	40	6	110
Вібронаклеп	70	65	85	-	8	150
Обкатка роликом	80	75	78	73	10	200
Алмазне вигладжування	78	76	-	-	11	180

В залежності від конкретних умов роботи деталі в машині, той чи інший параметр якості поверхневого шару має привалюючий вплив на конструктивну міцність.

Зупинимось більш детально на впливі параметрів стану поверхневого шару на опір втомленості.

При ППД за рахунок пластичної деформації вихідних нерівностей формується шорсткість з малою висотою, великими значеннями відносної опорної довжини профілю, збільшеними радіусами вершин і впадин нерівностей. Така форма нерівностей в порівнянні зі зміцненням металу збільшує зносостійкість пар тертя, контактну жорсткість стиків і знижує здатність поверхонь до зношування. Останнє особливо важливо для гумово-манжетних ущільнень. При роботі в парі з поверхнею, обробленою ППД, спостерігається суттєве зниження зношування ущільнення і зменшення (в десятки разів) витікання мастила [22].

На деталі, які працюють на втомленість, найбільший вплив мають не вершини нерівностей, а форма їх западин. Западина є технологічним концентратором напруг тим більше, чим більша висота нерівностей і менший радіус впадини. Ефективний коефіцієнт концентрації визначається наступним виразом (5):

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1k}} = \sqrt{1 + q(\alpha_{\sigma} - 1)}, \quad (1.9)$$

де σ_{-1} і σ_{-1k} - границя текучості гладенького зразка і зразка з концентратором напруг відповідно;

q – коефіцієнт чутливості матеріалу до концентрації напруг; α_{σ} - коефіцієнт концентрації напруг, що визначаються за формулою Г. Нейцбера:

$$\alpha_{\sigma} = 1 + 2\sqrt{\gamma \frac{R_z}{r}}, \quad (1.10)$$

де γ – коефіцієнт, що залежить від співвідношення кроку нерівностей до їхньої висоти; R_z – висотний параметр шорсткості; r – радіус западини нерівностей.

Вираз (1.3) може бути перетворено [24] до вигляду:

$$\alpha_{\sigma} = 1 + \frac{200}{t_p s_m} [2\gamma R_{\max} R_v]^{0.5}, \quad (1.11)$$

де t_p – відносна опорна довжина профілю на рівні середньої лінії; s_m – середній крок нерівностей; R_{\max} – найбільша висота мікро профілю; R_v – відстань від лінії западин до середньої лінії.

При ППД формуються поверхні з досить малою шорсткістю і великим радіусом впадин r нерівностей. З виразу (1.4) слідує, що це має сприятливий вплив на опір втомлюваності. Проте цей вплив завжди проявляється в сукупності з іншими параметрами якості поверхневого шару. Для деталей, що працюють під дією циклічних навантажень, ці параметри мають суттєвіший вплив на довговічність, ніж шорсткість. Це пояснюється тим, що впадини нерівностей мають вплив на опір втомлюваності до тих пір, поки не виникає втомлювана тріщина. Крім того, після зміцнення ППД, втомлювала тріщина часто зароджується під поверхнею на певній глибині. На період розвитку втомлюваної тріщини мають вплив деформаційні зміцнення і знімаючі залишкові напруження.

На відміну від гладеньких деталей, підвищення втомлюваної міцності деталей з концентраторами напруг зв'язують головним чином із сприятливою дією стискуючих залишкових напружень. Вклад кожного параметра якості поверхневого шару в зміцнення багато в чому залежить від властивостей матеріалу і його чутливості до концентрації напруг. Особливе значення вибір матеріалів має для деталей, що працюють на втомність.

При невеликих степенях наклепу (3-10%) і глибині зміцнення 10-20 мкм [5] відбувається ріст якісних властивостей, який обумовлений зниженням дефектів решітки об'єму, протіканням процесу полігонізації, формуванням сприятливої субструктури. В той же час зріст зміцнення знижає пластичність

сплавів, підвищує чутливість їх до перевантажень, зменшує тріщиностійкість. Підсилення впливу наклепу на опір втомності зі збільшенням бази дослідження пов'язано з розвитком в жаростійких сплавах при високій температурі дифузійних процесів, що викликають розміщення деформованого шару деталей. Для таких деталей негативний вплив наклепу потрібно видаляти електрохімічною обробкою поверхневого шару чи термообробкою.

Вплив якості поверхневого шару на довговічність деталей необхідно розглядати на основі комплексного підходу, що враховує вплив всіх факторів. Такий облік можливий тільки шляхом аналізу пластичної течії металу в осередковій деформації, з одного боку, і обліку механічних властивостей металу, з іншої. Ключовим питанням цієї проблеми є чутливість металу до концентрації напруг, тобто здатність його накопичувати під дією технологічних і експлуатаційних навантажень.

1.3 Напружено-деформований стан в осередку деформації

Розв'язок технологічних задач обробки металів тиском базується в основному на теорії пластичності. Однак, використання теоретичних методів дослідження напружено-деформованого стану обмежено недостатнім рівнем обґрунтування вибору тих чи інших реологічних моделей, а також граничних умов. Тому, незважаючи на те, що в роботі [1] відмічається, що при використанні класичних варіаційних методів в даний час можна „розв'язати будь-яку крайову задачу теорії обробки металів тиском з любою (розумною) точністю”, проблема вибору та побудови відповідних координатних функцій залишається невирішеною. Крім того, при наближеному розв'язку задач обробки тиском варіаційним методом не завжди вдається задовольнити умовам повноти та апроксимаційної універсальності [2]. Відкритим залишається питання вибору граничних умов. Граничні умови в формі законів Прандтля або Кулона, а також більш складні моделі [3] мають або

наближений, або частковий характер. Тому в обробці металів тиском залишається значною роль експериментальних та експериментально-розрахункових методів досліджень.

При обробці металів тиском експериментальним шляхом можна визначити переміщення, деформації, інколи швидкості течії і деякі функції напружень. Жоден із існуючих методів не дозволяє безпосередньо заміряти напруження в довільних точках деформуємого тіла. Вдається тільки наближено виміряти напруження на контактній поверхні [4-7] або в окремих точках деформуємого тіла [6] за допомогою спеціальних датчиків. Однак, отримана таким способом інформація має якісний характер [8], що пов'язано із значними похибками вимірювальних пристроїв та усередненням інформації в межах зони контакту матеріалу з вимірювальним пристроєм. Однак, ні один із експериментальних методів не дозволяє отримати прямою обробкою експериментальних даних всі характеристики напружено-деформованого стану. Повний аналіз НДС передбачає використання експериментально-розрахункових методів, які базуються на певних фізико-механічних теоріях пластичної деформації металів.

Найбільше поширення при дослідженнях НДС отримали методи, в яких використовують визначену експериментально кінематику. Якщо параметри кінематики (переміщення, швидкості течії) відомі, то можна розрахувати компоненти деформації та швидкості і потім, використовуючи теорію пластичної течії та граничні умови, визначити компоненти тензора напружень.

Найбільш поширеним і найстарішим є метод координатних сіток, який використовується для дослідження деформацій як на поверхні, так і у внутрішніх областях зразків. Співвідношення для розрахунків деформацій по zdeформованим координатним сіткам вперше отримані Е. Зібелем і П.О. Пашковим [9].

Визначення полів напружень і деформацій при обробці металів тиском можуть проводитись як на основі розв'язку повної системи рівнянь

прикладної теорії пластичності, так і при допомозі експериментально-розрахункових методів.

Задача дослідження напружено-деформованого стану (НДС) в пластично деформованих тілах формулюється як задача розв'язку системи нелінійних диференціальних рівнянь в частинних похідних. Однак не кожену задачу ОМТ можна сформулювати в вигляді математичної задачі теорії пластичності, оскільки складність фізичних залежностей і одночасний вплив множини факторів на процес пластичного формозмінення створюють багато труднощів в виборі розрахункової схеми і, крім того, не кожену сформульовану математичну задачу вдається розв'язати відомими методами із достатньою точністю.

При дослідженні процесів обробки металів тиском (ОМТ) накопичено великий досвід використання чисельних методів для визначення напружено-деформованого стану прямими варіаційними методами, зокрема методом Рітца, при якому вважається рівною робота зовнішніх та внутрішніх сил та який отримав подальший розвиток в роботах [1 – 3, 10,11] та ін. Використання методу скінчених елементів (МСЕ) дозволяє в значній мірі подолати труднощі вибору координатних функцій та використати можливості варіаційних методів для визначення не лише інтегральних, а й локальних характеристик процесів пластичного зміцнення поверхонь деталей машин.

Метод скінчених елементів являється ефективним чисельним методом для розв'язку широкого кола крайових задач механіки суцільного середовища. Він полягає в заміні досліджуємого об'єкта сукупністю певної кількості дискретних елементів, зв'язаних між собою вузлами. Безпосередній перехід до розрахункової формули дає можливість природно формувати граничні умови, довільно розміщувати вузли сітки елементів. Детальніше цей викладено в відомих працях [12 - 16].

Для визначення НДС при радіальному вдавлюванні ролика в циліндричну поверхню при використанні методу скінчених елементів нами

використана програма «LS-Dyna», яка останнім часом отримала досить широке практичне використання.

Для визначення НДС в поверхневому шарі металу деталі нами була використана програма «LS Dyna», робота якої над поставленою нами задачею описана вище. Послідовність моделювання наступна:

- 1) запуск програми;
- 2) вибір типу задачі і її розв'язувача;
- 3) створення бази даних матеріалів проекту з визначенням їх фізико-механічних властивостей;
- 4) створення геометричної моделі;
- 5) розбивка моделі на кінцеві елементи;
- 6) прикладення обмежень і навантажень;
- 7) визначення необхідних результатів;
- 8) запуск розрахунку;
- 9) аналіз результатів.

Для визначення розподілу твердості по глибині поверхневого пластично деформованого шару використовували розрахункові значення інтенсивності напружень σ_u та розподіл σ_u по товщині цього шару [5 - 8]. По знайденим значенням σ_u із тарувального графіка HV- σ_u - ϵ_u визначали відповідні значення твердості HV та ступеня деформацій ϵ_u . Отримані результати приведені в таблиці 1.3. Інформацію про напружений та деформований стан поверхневого шару металу використовували в подальшому для визначення величини використаного ресурсу пластичності в поверхневому шарі металу.

Поряд з такими параметрами якості, як, шорсткість, глибина та ступінь зміцнення, ключовими показниками фізико-хімічного стану поверхневого шару є остаточні напруження. Вид та режими технологічної дії визначають знак, величину та характер розподілу остаточних напружень.

Відомо, що поява остаточних напружень пов'язано з умовами виготовлення деталей, тому проектування технологічних процесів виготовлення повинно здійснюватись, таким чином, щоб виникші в

поверхневих шарах остаточні напруження забезпечували довговічність деталей в умовах її експлуатації.

Розробці методів визначення остаточних напружень та вивченню їх появи в конструкційних матеріалах після різних видів механічної обробки присвячено значне число робіт [16, 17, 18, 19-22]. Більшість авторів відмічають ключову роль остаточних напружень в забезпеченні циклічної довговічності деталей.

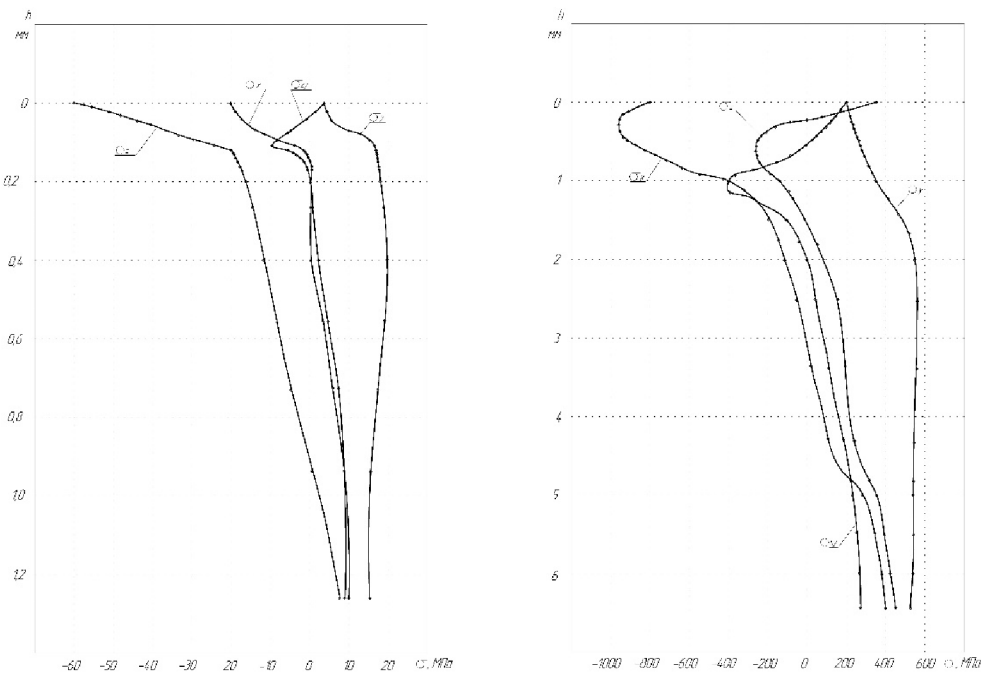
Особливістю методів є формування остаточних напружень одночасно із зміцненням поверхневого шару. За даними різних авторів, при обробці ППД в поверхневому шарі утворюються стискаючі остаточні напруження, глибина розповсюдження яких складає 1-3 мм [19].

Осьова складова остаточних напружень після ППД в 1,5-2 рази перевершує значення інших складових ОН в циліндричній системі координат [20].

При наявності на деталі концентратора напружень роль остаточних напружень в забезпеченні витривалості стає визначальною.

Напруження від попередніх операцій обробки різанням немає суттєвого впливу на остаточні напруження після ППД, оскільки глибина пластично деформованого шару у більшості випадків значно перевершує глибину розповсюдження остаточних напружень від обробки різанням .

Глибина поширення остаточних напружень після різання не перевищує 0,4мм, а після ППД досягає значень до 3 мм (рис 1.11). максимально стискаючі напруження після обробки ППД досягають – 800 МПа (осьова складова). Максимум ОН визначаються на поверхні або на деякому (до 0,2 мм) віддаленні від неї [7].



а) після різання (глибина – 0,5 мм, швидкість-6м/хв., подача-0,05 мм/об)

б) після ППД (діаметр ролика- 95 мм, частота обертання – 630 об/хв., подача-0,21 мм/об, зусилля – 2500Н)

Рисунок 1.1 – розподіл компонент тензора остаточних напружень по глибині поверхневого шару

За даними різних авторів, на величину ($\sigma_{ост}$) та глибину розповсюдження ($h\sigma_{ост}$) остаточних напружень при ППД впливають зусилля обробки P , профільний радіус ролика $R_{пр}$, подача S , число ходів k , діаметр деталі D_d та ролика D_p , вихідна твердість металу та ін.

Аналіз впливу ОН на межу витривалості оброблених ППД деталей був вперше проведений І.В. Кудрявцевим [19, 21]. Даними та іншими дослідженнями було встановлено, що залежність між межею витривалості та величиною остаточних напружень якісно однакова для різних матеріалів. Для чавуну СЧ15 така залежність приведена на рис. 2.2.

Не дивлячись на значний об'єм експериментальних досліджень, направлених на встановлення взаємозв'язку між σ_{-1} та $\sigma_{ост}$ загальної методики оцінки межі витривалості по величині ОН запропоновано не було,

оскільки у різних матеріалів режими обробки ППД, що створюють максимальне значення остаточної напруженості, не завжди співпадають з режимами, які забезпечують максимальну межу витривалості.

Найбільша межа витривалості мають зразки, виготовлені з попередньо деформованих заготовок. Остаточні напруження в таких зразках є стискаючими, що викликає збільшення межі витривалості в середньому на 18%. Частка впливу ОН при цьому складає біля 12%, а частка зміцнення – лише 6%.

Згідно теореми про розгрузку тензор залишкових напружень представляється у вигляді різниці напружень, що виникли в реальному пружньо-пластичному тілі, і напружень, які виникали б в ідеально пружньому тілі при ідентичному напруженні:

$$[\sigma_{ост}] = [\sigma_{деф}] - [\sigma_{раз}], \quad (2.1)$$

де $[\sigma_{деф}]$ – тензор напружень під навантаженням; $[\sigma_{раз}]$ – тензор пружніх напружень розвантаження.

У цій роботі поставлено завдання моделювання процесу деформації поверхневого шару при зміцнюючій поверхневій обробці розкатуванням роликком для визначення залишкової напруги в поверхневому шарі деталі. Для вирішення цього завдання використовувалося математичне моделювання за допомогою програми LS - DYNA. Програма призначена для розрахунків швидкоплинних, динамічних завдань і процесів, що мають значну нелінійність, і дуже добре підходить для вирішення завдань обробки тиском, оскільки течія матеріалу в процесі пластичної деформації в процесах ОМД має значну нелінійність. Програма дозволяє змоделювати практично усі процеси обробки металів тиском. При цьому не має обмежень по розмірах і формі заготівель у відмінності від теоретичних розрахунків. Пов'язано це з тим, що при створенні звичайно-елементної моделі виконується розбиття заготовки будь-якої складності на елементарні елементи.

Моделювання проходить у декілька етапів:

- будується геометрична модель;

- задаються тип матеріалів і їх властивості;
- привласнюються атрибути (матеріал, тип кінцевого елемента) елементам геометричної моделі;
- розбивається модель на кінцеві елементи ;
- задаються граничні умови(закріплення моделі і діючі сили);
- вирішується задача;
- переглядаються результати.

У цій моделі розглядається розкатка отвору, роликком діаметром 45мм, з профільним радіусом - 5 мм. Аналіз отриманих результатів показує, що мають місце три зони деформації[5]: область випередження; область прилипання або область безпосередньо контакту ролика і деталі; область відставання. Формування усіх зон добре видно на рисунку 2.3 та 2.4.

В зоні пластичної хвилі відбуваються значні деформації при несприятливій схемі напруженого стану. Показник напруженого стану в цій зоні змінюється від $\eta=0,71$ до $\eta=1,6$, а параметр Надаї –Лоде μ_σ змінюється від $\mu_\sigma = -0,3$ до $\mu_\sigma = -0,4$.

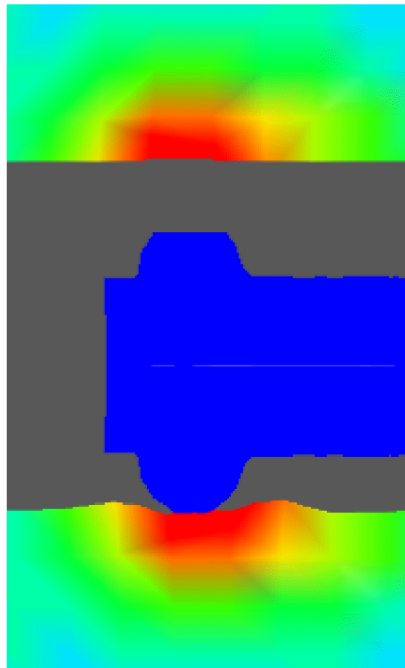


Рисунок 1.2 – Зони деформування в перерізі деталі

Для заданих параметрів обробки визначено основні напруження (рисунок 1.2)

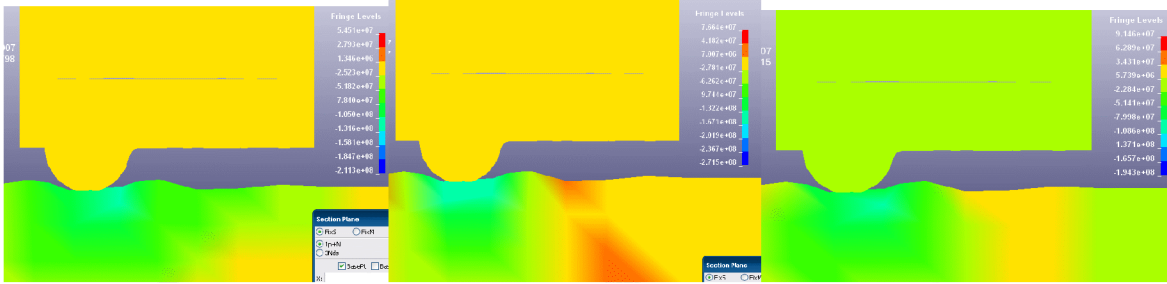


Рисунок 1.3 – Нормальні напруження ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$)

Отримано також графічну залежність напружень від часу в одній точці деталі (рисунок 2.7).

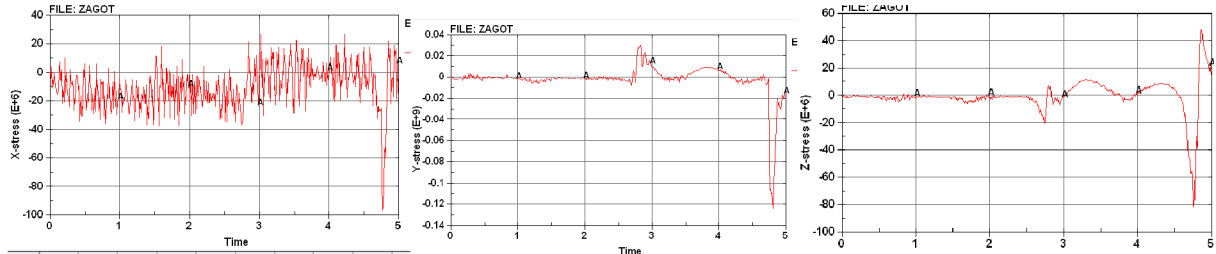


Рисунок 1.4 – Нормальні напруження ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$)

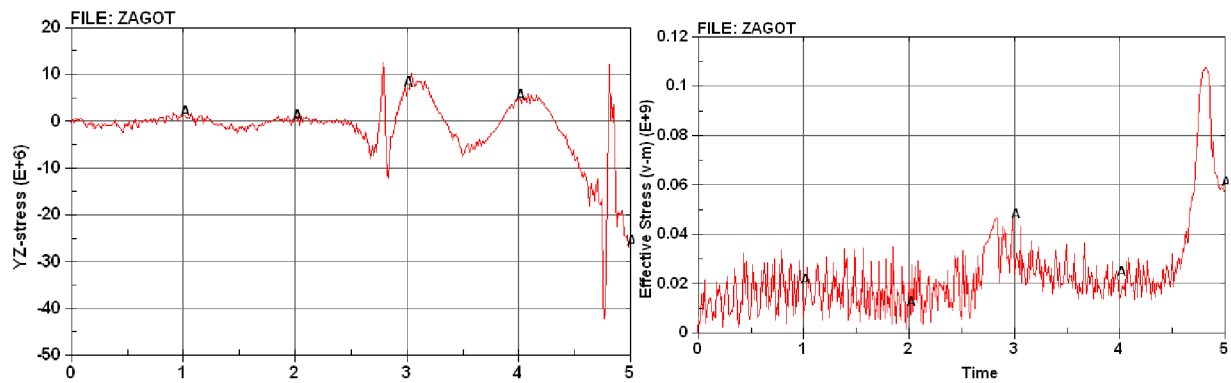


Рисунок 1.5 – Дотичні напруження та інтенсивність напружень

Як видно із графіків початкові напруження виникають в області пластичної хвилі, а потім значно більші при безпосередньому контакті деталі і заготовки. Причому в області пластичної хвилі це розтягуючі напруження, а в зоні контакту – стискаючі.

Крім того встановлено залежність зміни напружень від параметрів технологічного процесу, наприклад при збільшенні діаметра ролика, напруження також зростають.

Встановлено, що переважний вплив на $\sigma_{ост}$ має зусилля обробки P . Залежність $\sigma_{ост}$ від P має максимум, положення якого визначається величиною R_{np} . Із збільшенням R_{np} максимум зміщується в сторону великих зусиль. Надмірне збільшення P призводить до зниження ОН, а при обробці з невеликими зусиллями більш високі значення можуть бути отримані при малому R_{np} .

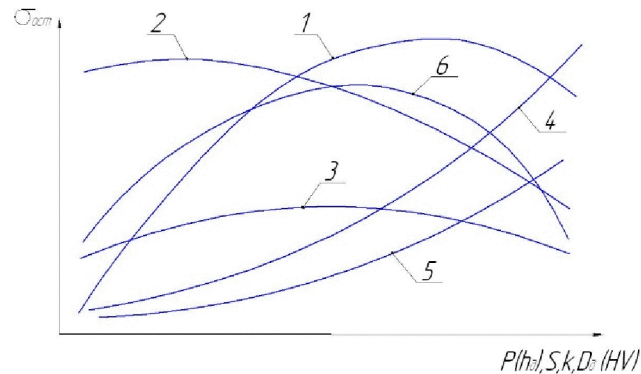


Рисунок 1.6– Взаємозв'язки величини та глибини розповсюдження осьових остаточних напружень з технологічними параметрами режиму обробки ППД: (1 – нормальне підсилення P (натяг h_{δ}); 2 – подача S ; число ходів k ; 4 – діаметр деталі D_{δ} ; 5 – вихідна твердість HV (HB); 6 – діаметр ролика D_p)

Висновок

На основі змодельованого процесу розкочування отвору зроблено висновок про вплив технологічних параметрів процесу на остаточні напруження. Таким чином, підібравши параметри технологічного процесу можна говорити про остаточні напруження, які виникають в деталі. А вони в свою чергу впливають на границю витривалості деталі

2 РОЗРОБКА МАРШРУТУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

2.1 Визначення типу виробництва і форми організації роботи

Тип виробництва згідно ГОСТ 3.1121-84 визначається за коефіцієнтом закріплення операцій:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i}, \quad (2.1)$$

де $\sum O_i$ – кількість операцій, які виконуються на дільниці;

$\sum P_i$ – кількість робочих місць на дільниці.

Прийняті такі коефіцієнти закріплення операцій:

$K_{з.о.} = 1$ – масове виробництво;

$1 < K_{з.о.} \leq 10$ – великосерійне виробництво;

$10 < K_{з.о.} \leq 20$ – середньосерійне виробництво;

$20 < K_{з.о.} \leq 40$ – дрібносерійне виробництво.

Вихідними даними для визначення $K_{з.о.}$, а значить і типу виробництва, є робоче креслення і річна програма випуску деталі.

Згідно креслення деталі встановлені найбільш характерні переходи механічної обробки деталі «Важіль поворотний» і занесені до таблиці 1.1.

Для записаних в таблиці 1 переходів механічної обробки наближено визначено основний час механічної обробки $T_{осн}$

Згідно рекомендацій наближено визначено тип виробництва, як серійний

Визначено $T_{шт-к}$

$$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_K [\text{хв}] \quad (2.2)$$

де φ_K – коефіцієнт

Для кожного переходу механічної обробки необхідна кількість верстатів

$$C_{pi} = \frac{N \cdot T_{шт.к.}}{60 F_d \cdot \eta_{з.н.}}, \quad (2.3)$$

де $N = 1800$ шт. – річна програма випуску деталі “ Важіль поворотний 18.48”;

$T_{шт.к.}$ – штучно-калькуляційний час, хв;

F_d – дійсний фонд роботи обладнання ($F_d = 2030$ год);

$\eta_{з.н.}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання ($\eta_{з.н.} = 0,8$).

Одержану розрахункову кількість верстатів заокруглено до найближчого більшого числа і одержано прийняту кількість верстатів P .

Визначено фактичний коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{C_{pi}}{P_i}, \quad (2.4)$$

де C_{pi} – необхідна кількість верстатів для виконання даної операції;

P_i – кількість робочих місць для виконання даної операції.

Встановлено кількість операцій, які виконуються на i -му місці:

$$O_i = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.i}}, \quad (2.5)$$

де $\eta_{з.н.}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання;

$\eta_{з.ф.i}$ – фактичний коефіцієнт завантаження обладнання, на i -ій операції.

Знайдено сумарну кількість операцій, що можуть бути виконані на всіх робочих місцях $\sum O_i$

$$\sum O_i = 36,4 + 26,67 + 47 + 40 = 146,07$$

Розраховано сумарну кількість прийнятих верстатів $\sum P = 4$

Встановлено коефіцієнт закріплення $K_{3,0}$.

$$K_{3,0} = 146,07 / 4 = 36,51$$

Всі розрахункові дані занесені до таблиці 1.1.

Згідно отриманого коефіцієнта закріплення операцій тип виробництва – дрібносерійне, що відповідає типу виробництва визначеного наближеним способом (за масою і програмою випуску деталей за рік).

Доцільність вибору групової чи потокової форми організації роботи визначається шляхом порівняння потрібного добового випуску виробів N_{∂} і розрахункової добової продуктивності лінії Q_{∂} . Якщо $N_{\partial} < Q_{\partial}$, то потокову лінію використовувати недоцільно.

$$N_{\partial} = \frac{N}{254}, \quad (2.6)$$

де 254 кількість робочих днів в року;

$$Q_{\partial} = \frac{F_{\partial}}{T_{шт-к_{сер}} \cdot \eta_3}, \quad (2.7)$$

де $T_{шт-к_{сер}}$ – середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів, хв.; η_3 – добовий коефіцієнт завантаження потокової лінії.

$$T_{шт-к_{сер}} = \frac{\sum T_{шт-к_i}}{\sum n_i}, \quad [\text{хв}] \quad (2.8)$$

де $T_{шт-к_i}$ – штучно-калькуляційний час виконання i -го переходу, хв.; $\sum n_i$ – сумарна кількість виконуваних переходів.

Відповідно середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів становитиме:

$$T_{шт-к_i} = (1,2 + 1,61 + 0,921 + 1,098) / 4 = 1,21 \text{ (хв.)}$$

Отже добова продуктивність лінії становитиме:

$$Q_d = \frac{2030}{1,21 \cdot 0,8} = 2097$$

Потрібний добовий випуск виробів:

$$N_d = \frac{1800}{254} = 7,087$$

Оскільки потрібний добовий випуск виробів значно менший добової продуктивності лінії то відповідно обираємо групову форму організації роботи.

При груповій формі організації роботи визначається кількість деталей в партії для одночасного запуску

$$n = \frac{N \cdot a}{254}, \quad (2.9)$$

де a – періодичність запуску деталей на обробку, в днях (6 днів).

$$n = \frac{1800 \cdot 6}{254} = 43$$

Отже тип виробництва – серійне, форма організації роботи – групова, при цьому кількість деталей в партії для одночасного запуску складає 43 шт.

Таблиця 2.1 – Визначення типу виробництва

№ п/п	Зміст технологічних операцій	T _{осн} , хв	T _{шт} , хв	N	Фд	Ср	P	h з.н.	h з.ф.	O	Кз.о.
1.	Фрезервання поверхні	0,5	1,2	1800	2040	0,022	1	0,75	0,022	36,4	36.51
2.	Розточування отвору (D=90; l=40)	0,768	1,61	1800	2040	0,03	1	0,75	0,03	26,67	
3.	Фрезерування пазу (l=50)	0,354	0,921	1800	2040	0,017	1	0,75	0,017	47	
4.	Свердління отворів (D=20; l=54)	0,457	10,98	1800	2040	0,02	1	0,75	0,02	40	

2.2 Аналіз конструкції і технологічності деталі

Деталь Важіль поворотнийє складовою крупомольного обладнання, яке випускається на Могилів-Подільському машинобудівному заводі. Деталь має досить складну і нестандартну форму. Проте більшість поверхонь отримуються литтям. І лише отвори, за допомогою яких деталь кріпиться на вал потребують обробки, а також кріпильні отвори, які мають малий діаметр і не можуть бути отримані в заготовці.

Нетехнологічними в деталі є глухий отвір $\varnothing 4$, який не дозволяє вести обробку на прохід, та отвір з різью М10, який розташований під кутом, що вимагає спеціального пристосування, яке дозволить закріпити деталь в необхідному положенні.

Деталь не містить важкодоступних для обробки місць. Основними конструкторськими базами є отвір $\varnothing 32$, допоміжними паз 20, відносно якого базується деталь складальної одиниці. Кріпильними базами є отвори М10 та $\varnothing 8$. Всі інші поверхні є вільними.

В цілому деталь не містить важкодоступних для обробки місць і дозволяє використовувати високоефективні методи обробки.

Технологічність деталі будемо оцінювати за допомогою трьох кількісних показників.

1) Коефіцієнт уніфікації.

$$K_y = Q_{ye} / Q_e, \quad (2.10)$$

де Q_{ye} – кількість уніфікованих елементів;

Q_e – загальна кількість елементів.

Таблиця 2.2 – Коефіцієнт уніфікації

Розміри						Шорсткість	
Лінійні		Кутові		Різьби		Заг.	Уніфік.
Заг.	Уніфік.	Заг.	Уніфік.	Заг.	Уніфік.	7	7
52	47	7	7	2	2		
$Q_{ye}=63$							
$Q_e=68$							

$$K_y = 63/68 = 0,926 > 0,8.$$

Отже, за даним показником деталь є технологічною.

2) Коефіцієнт шорсткості.

$$K_{ш} = 1 / Ш_{cp} ; \quad (2.11)$$

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{n_i} \quad (2.12)$$

де $Ш_i$ – шорсткість і-ої поверхні;

n_i – кількість поверхонь з шорсткістю $Ш_i$.

Таблиця 2.3- Коефіцієнт точності

Шорсткість	Кількість поверхонь	Розрахунок
1,6	1	1,6 · 1 = 1,6
3,2	6	3,2 · 6 = 19,2
12,5	54	12,5 · 54 = 675
Всього:	61	695,8

$$Ш_c = 695,8 / 61 = 11,4$$

$$K_{ш} = 1 / 11,4 = 0,088 < 0,32.$$

Отже, за даним показником деталь є також технологічною.

3) Коефіцієнт точності

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} ; \quad (2.13)$$

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{n_i} ; \quad (2.14)$$

де T_i – квалітет точності і-го розміру;

n_i – кількість розмірів з квалітетом T_i .

Таблиця 2.4 – Коефіцієнт точності

Квалітет	Кількість розмірів	Розрахунок
8	1	8
16	6	$16 \cdot 6 = 96$
14	54	$14 \cdot 54 = 756$
Всього	61	860

$$T_c = 860/61 = 14,098$$

$$K_T = 1 - 1/14,098 = 0,929$$

За даним показником деталь є також технологічною.

Отже деталь технологічна за якісними і кількісними показниками, містить лише декілька нетехнологічних елементів, які все ж можуть бути отримані під час механічної обробки.

2.3 Вибір способу виготовлення заготовки

2.3.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки

Орієнтуючись на робоче креслення деталі, масу та серійність виробництва встановлюємо метод одержання заготовки згідно [3] – лиття, так як деталь виготовляється з матеріалу СЧ 20 ГОСТ 1412-85.

Лиття в піщано-глинисті форми – самий розповсюджений спосіб лиття. В машинобудуванні, цим способом виготовляють 75-80 % виливків (по масі). В залежності від розмірів вилівка і типу виробництва застосовують ручне або машинне формування. В піщано-глинистих формах можна одержати виливки самої складної конфігурації і масою від декількох грамів до сотень тон.

Заготовки, що виливаються цим способом характеризуються низькою точністю, високими параметрами шорсткості і великими припусками на

механічну обробку. В загальному випадку литтям в піщано-глинисті форми можна одержати виливки з шорсткістю поверхонь $R_z = 320-40$ мкм і з точністю, що відповідає 14-17 квалітетам і грубіше.

Вартість виготовлення виливків мінімальна, але вартість їх механічної обробки більша, чим заготовок, одержаних іншими способами лиття. Лиття в піщано-глинисті форми вимагає найбільших затрат матеріалу, причому 45-30 % маси вилівка перетворюється в стружку при механічній обробці, на що витрачається близько 25 % виробляємої електричної енергії. Перехід до спеціальних способів лиття дає можливість знизити припуски на механічну обробку і кількість стружки до 5-7 %.

Переваги спеціальних способів лиття полягають не тільки в зниженні об'єму механічної обробки, але й в зменшенні маси ливникової системи і різкому зниженні витрат формувальних матеріалів.

Лиття в кокіль – найбільш дешевий серед спеціальних способів лиття. Його головна особливість полягає в багатократному використанні металевої форми – кокіля. Стійкість чавунних кокілей складає при виготовленні сталюого лиття 50...500 виливків, чавунного – 400...8000 виливків, лиття з кольорових сплавів – тисячі і десятки тисяч виливків.

Кокілі дозволяють одержати виливки з точними розмірами (до 12 квалітету). Параметр шорсткості може досягати $R_z = 20$ мкм. В зв'язку з високою теплопровідністю матеріалу форми, швидкість кристалізації дуже велика. Це підвищує механічні властивості вилівка (за рахунок одержання дрібнозернистої структури) на 10-15 %, але в той час погіршується можливість виготовлення виливків з тонкими стінками. Кокілям практично не властива податливість і газопроникність, що необхідно враховувати при конструюванні вилівка.

При переході з лиття в піщані форми на кокільні витрати матеріалу зменшуються на 10-20 % за рахунок зменшення ливникової системи.

Трудомісткість механічної обробки за рахунок зменшення припусків і високої точності розмірів зменшується в 1,5-2 рази.

Одночасно потрібно враховувати те, що самі кокілі коштують досить дорого, що в них можна виготовляти виливки порівняно простої конфігурації і що можливе їх жолоблення із-за значних усадочних і термічних напружень.

Кокільне лиття доцільно застосовувати в умовах серійного виробництва при одержанні з кожної форми не менше 300-500 дрібних або 50-200 середніх виливків в рік, а також для виготовлення виливків простої конфігурації із мідних, алюмінієвих і магнієвих сплавів, а також із сталі і чавуну.

Заміна лиття в піщані форми на кокільне при досить великій програмі випуску знижує собівартість виливків приблизно на 30 % і підвищує продуктивність праці в 4-6 разів.

Витрати на організацію дільниці кокільного лиття і дільниці виливків при цьому окупаються за 2-3 місяці.

Враховуючи, що матеріал вилівка СЧ-18 кокіль повинен бути облицьованим, тобто із захисним покриттям його стінок. Це вимагає додаткових економічних витрат.

Лиття в оболонкові форми заключається в тому, що разову ливарну форму виготовляють у вигляді оболонки, використовуючи для формувальної суміші в якості зв'язуючого матеріалу фенольні термореактивні смоли, що міцно цементують дрібний кварцовий пісок, який використовується як наповнювач. Виготовлення оболонкової форми виключає необхідність в опоках, які використовуються при литті в піщано-глинисті форми. При литті в оболонкові форми різко знижуються витрати формувальної суміші, процес легко механізувати і автоматизувати. Використання формувальної суміші, яка складається із 92-95 % дрібного кварцевого, магnezієвого або цирконієвого піску і 4-6 % термореактивної фенолформальдегідної смоли, забезпечує малу шорсткість поверхні і більш високу точність виливків (12-15 квалітети), ніж при литті в піщано-глинисті форми (14-17 квалітети), так як оболонка твердіє

на моделі та зберігає її розміри. Коефіцієнт використання матеріалу при литті в оболонкові форми 0,85-0,9, що значно вище ніж при литті в піщано-глинисті форми 0,55-0,7 та в кокіль - 0,71-0,75. Це призводить до зменшення об'єму механічної обробки, а відповідно до зниження її собівартості. Структура металу при литті в оболонкові форми дрібнозерниста, якісна.

Враховуючи, що при литті сірого чавуну в кокіль на поверхні заготовки утворюється відбілений шар, структура металу має пористості та внутрішні дефекти внаслідок різкого охолодження металу (металева форма – це хороший провідник теплоти) прийнято до розгляду варіанти одержання заготовки – лиття в піщано-глинисті форми та лиття в оболонкові форми

2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки для обох способів її виготовлення

Вибір вихідних параметрів заготовки, що характеризують її точність:

а) клас розмірної точності виливка.

Тип сплаву – чорні, найбільший габаритний розмір в діапазоні „від 100 до 250”. Отже, клас розмірної точності виливка знаходиться в межах 9т-13 для першого способу лиття і в межах від 8 до 13т для лиття в оболонкові форми, відповідно приймаємо 11 та 11т клас розмірної точності.

б) ступінь жолоблення елементів виливка.

Відношення мінімального розміру елемента виливка до максимального:

$$10/190=0,056;$$

виливок виготовляється в разових формах, він нетермооброблюваний, отже, ступінь жолоблення в межах 5-8. Для дрібносерійного виробництва приймаємо 7;

в) ступінь точності поверхонь виливка. Визначаємо по аналогії з класом розмірної точності виливка. Отримана ступінь точності в межах від 10 до 17

для лиття в піщано-глинисті форми і від 8 до 14 для лиття в оболонкові форми. Відповідно приймаємо 15 та 12 ступінь точності поверхонь виливка.

г) шорсткість поверхонь виливка. Для ступіню точності виливка 15 – 50 мкм, для ступеню точності виливка 12 -шорсткість $Ra=25$ мкм;

д) клас точності маси виливка. Маса даної деталі в межах до 10 кг. Отже, клас точності маси: 7-15 та 7т-14 відповідно для лиття в піщано-глинисті та оболонкові форми, приймаємо 13 та 12 клас точності маси відповідно;

є) ряд припусків. В залежності від ступеня точності поверхні, маємо ряд припусків 6-9 та 4-7, приймаємо 8 та 6 ряд припусків відповідно для лиття в піщано-глинисті та оболонкові форми.

Вибір допусків заготовки.

а) допуск розмірів [2]. Визначаємо для кожного розміру, що буде виливатися, в залежності від класу точності;

б) форми чи розміщення поверхонь;

в) допуск маси. В залежності від номінальної маси (8,3 кг) і класу точності маси виливка, приймаємо допуск маси 24 % та 32% відповідно для першого та другого способів лиття;

г) допуск нерівностей. Для ступіню точності поверхонь виливка 15 та 12, допуск нерівностей дорівнює 1,2 та 0,64 відповідно;

д) загальний допуск. Визначається для кожного розміру, що виливається з урахуванням допуску розміру від поверхні до бази і допуску форми і розміщення поверхні.

Вибір припусків заготовки:

а) мінімальний ливарний припуск на сторону. Для рядів припусків 8 та 6 дорівнює 1 та 0,6 відповідно;

б) Кількість переходів механічної обробки в залежності від необхідної точності розмірів оброблюваної деталі: [2]. Визначається співвідношення між допусками розміру деталі і виливка, за допомогою допуску розміру виливка визначають кількість переходів;

в) Кількість переходів механічної обробки в залежності від необхідної точності форми, розміщення поверхонь оброблюваної деталі.

Таблиця 2.5-Розрахунок розмірів заготовки вилитої в піщано-глинисті форми

Вхідні дані	Згідно ГОСТ 26645-8555			Прийнято
Клас розмірної точності	9т-13			11
Ступінь жолоблення	5-8			7
Ступінь точності поверхонь	10-17			15
Шорсткість поверхонь вилівка	Ra =50 мкм			Ra = 50мкм
Клас точності маси	7-15			13
Ряд припусків	6-9			8
Розрахункові розміри, мм				
Допуски:	54	25	Ø90	Ø60
розмірів	3,2	3,6	4,0	3,6
форми чи розміщ.	0,64			
Зміщен. по площ	1	1	1	1
маси	32			
Нерівностей	1,2			
загальний	3,2	4	4	4
Мінім. припуск	1			
Загал. припуск	2,9	3,4	5,8	3,4
Кількість переходів механічної обробки				
за точністю	1	1	1	4
Розмір заготовки	58,8	18,2	Ø88,4	Ø53,2

Остаточна кількість переходів механічної обробки встановлюється за більшим значенням, які будуть отримані в двох попередніх пунктах.

г) загальний припуск на сторону. Визначається в залежності від загального допуску, від виду кінцевої механічної обробки та від ряду припуску виливка.

Таблиця 2.6-Розрахунок розмірів литої заготовки (оболонкові форми)

Вхідні дані		Згідно ГОСТ 26645-8555		Прийнято	
Клас розмірної точності		8-13т		11т	
Ступінь жолоблення		5-8		7	
Ступінь точності поверхонь		8-14		12	
Шорсткість поверхонь виливка		Ra = 25мкм		Ra = 25мкм	
Клас точності маси		7т-14		12	
Ряд припусків		4-7		6	
Розрахункові розміри, мм					
Допуски:		54	25	Ø90	Ø60
розмірів		2,4	3,2	3,2	3,2
форми чи розміщення		0,64			
Зміщен. по площ		0,8	0,8	0,8	0,8
маси		24			
Нерівностей		0,64			
загальний		2,4	3,2	3,2	3,2
Мінім. припуск		0,6			
Загал. припуск		2,1	2,5	4,3	2,5
Кількість переходів механічної обробки					
за точністю		1	1	1	4

Розмір заготовки	58,2	20	81,4	53,6
------------------	------	----	------	------

При розрахунку зовнішніх діаметральних розмірів заготовки вибраний загальний припуск подвоюється і додається до розміру готової деталі, а при розрахунку внутрішніх діаметральних заготовки вибраний загальний припуск подвоюється і віднімається від розміру готової деталі.

Вибір конструктивних елементів заготовки

а) товщина стінок

Зведений габарит заготовки:

$$N = (2l + b + h)/3, [\text{мм}] \quad (2.15)$$

де l , b , h – відповідно довжина, ширина і висота деталі,

$$N = (2 \cdot 162 + 40 + 108)/3 = 157,67 \text{ (мм)}.$$

Приймаємо мінімальну товщину стінок 3 мм;

б) радіуси заокруглень. Приймаємо радіуси заокруглень 5 мм при литті в піщано-глинисті форми та 3 мм при литті в оболонкові форми;

в) нахили приймаємо $3^{\circ}03'$;

г) мінімальний діаметр отвору, що виливається:

$$d_{\min} = d_0 + 0.1S, [\text{мм}] \quad (2.16)$$

d_0 – для чавуну рівен 8 мм,

$$d_{\min} = 8 + 0,1 \cdot 40 = 12 \text{ (мм)}.$$

Отже, мінімальний діаметр, що виливається 12 мм.

2.3.3 Оформлення двох ескізів заготовок

Ескізи показані на рисунках 2.1 та 2.2.

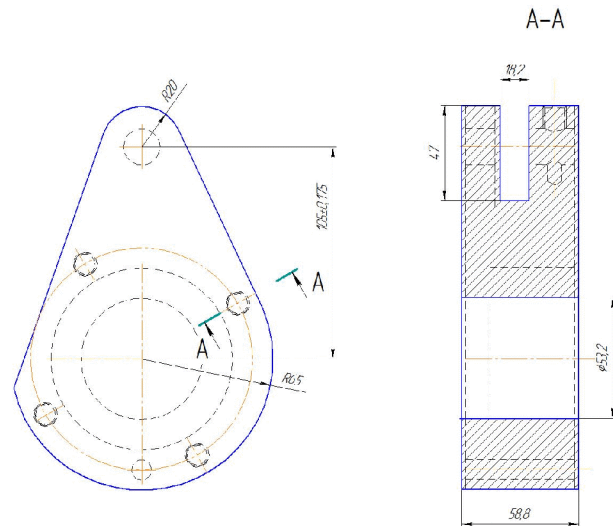


Рисунок 2.1 – Ескіз вилівка в піщано-глинисті форми

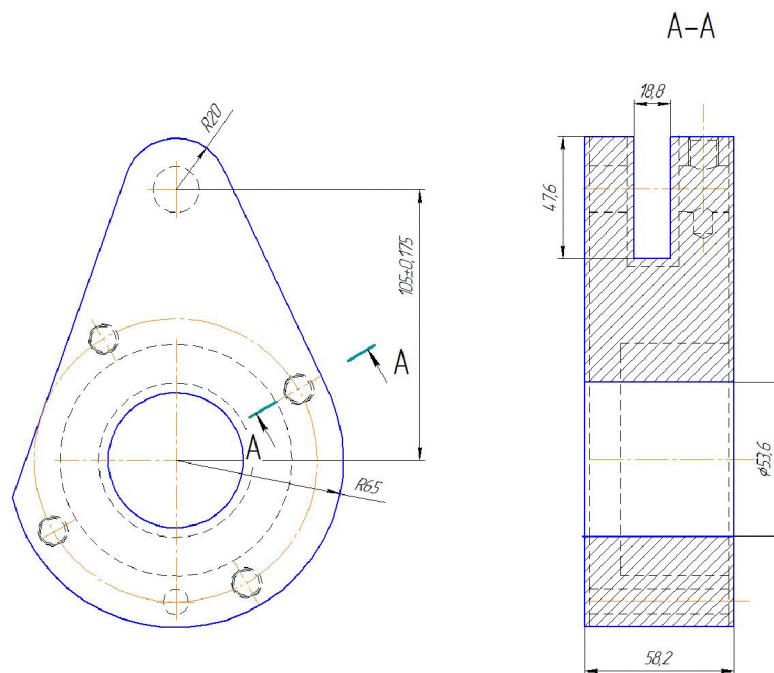


Рисунок 2.2 – Ескіз вилівка в оболонковій формі

2.3.4 Розрахунок маси і коефіцієнта точності маси заготовки для двох варіантів виготовлення заготовки

Маса заготовки розраховується за формулою:

$$Q_{\text{заг}} = (V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n) \rho = \sum V_i \rho, [\text{кг}] \quad (2.17)$$

V_i – об'єм елементарних фігур, які входять в заготовку;

ρ – густина СЧ20, $\rho=7,1 \cdot 10^{-6}$ кг/мм³.

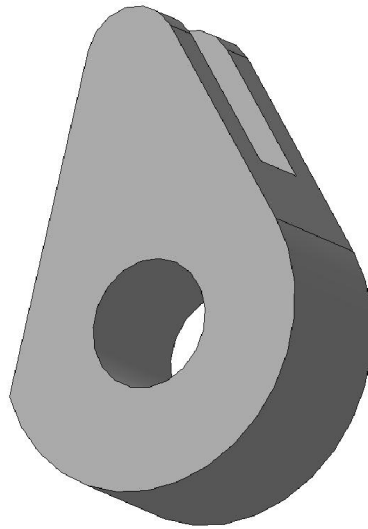


Рисунок 2..3 – 3d-модель заготовки

Маса заготовки це сума маси деталі, припусків та напусків, при литті в піщано-глинисті форми складатиме 2,092 кг.

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$J = Q_{\text{дет}} / Q_{\text{заг}} = 1,66 / 2,092 = 0,7935$$

Виливок в оболонковій формі матиме масу 2.062 кг.

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$J = Q_{\text{дет}} / Q_{\text{заг}} = 1,66 / 2,062 = 0,805$$

2.3.5 Техніко-економічне порівняння двох варіантів виготовлення заготовки і вибір найбільш раціонального

Вартість заготовки – це економічний показник, який впливає на собівартість виготовлення деталі. Для того, щоб надати перевагу якомусь способу литтю необхідно визначити вартість заготовок.

Вартість заготовки визначаємо за формулою:

$$C_{\text{заг. лит}} = \frac{(Q_{\text{заг}} \cdot C_{\text{Л}} \cdot K_{\text{T}} \cdot K_{\text{М}} \cdot K_{\text{С}} \cdot K_{\text{В}} \cdot K_{\text{П}})}{1000} - \frac{(Q_{\text{заг}} - Q_{\text{дет}}) \cdot C_{\text{відх}}}{1000} \quad (2.18)$$

де $C_{\text{Л}}$ - базова вартість 1т заготовок, грн., враховуючи спосіб одержання литої заготовки;

K_{T} - коефіцієнт, що враховує клас точності заготовок, враховуємо спосіб лиття, матеріал заготовки і клас розмірної точності;

$K_{\text{М}}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки. Враховуємо спосіб лиття і марку матеріалу;

$K_{\text{С}}$ – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки. Дана деталь не складної конфігурації і можна віднести до 2 групи складності, також враховуємо спосіб лиття і матеріал заготовки;

$K_{\text{В}}$ – коефіцієнт, що враховує масу заготовки. Вибираємо згідно способу лиття, маси виливка, матеріалу виливка;

$K_{\text{П}}$ – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва, тобто розміру ручної програми випуску заготовок. Попередньо визначаємо групу серійності в залежності від способу лиття, маси виливків і об'єму. При литті в піщано-глинисті форми і лиття оболонкові форми – 2 група серійності;

Для лиття в піщано-глинисті форми: $C_{\text{Л}} = 15600$ грн; $K_{\text{T}} = 1,05$; $K_{\text{М}} = 1$; $K_{\text{С}} = 0,83$; $K_{\text{В}} = 0,91$; $K_{\text{П}} = 1$;

$$C_{\text{зар}}=(2,092 \cdot 45600 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,83 \cdot 0,91 \cdot 1)/1000-(2,092-1,66) \cdot 4500/1000=254 \text{ (грн)}$$

Для лиття в оболонкові форми: $C_{\text{л}} = 24400$ грн; $KT = 1$; $KM = 1$; $KC = 0,9$;
 $KB = 0,86$; $KП = 1,1$;

$$C_{\text{зар}}=(2,062 \cdot 54400 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,86 \cdot 1,1)/1000-(2,062-1,66) \cdot 4500/1000=296 \text{ (грн)}$$

Загальний економічний ефект може залежати ще і від витрат на механічну обробку, але так як кількість переходів механічної обробки при литті в оболонкові форми та при литті в піщано-глинисті форми однакова то доцільніше використовувати лиття в піщано-глинисті форми.

2.4 Аналітичний огляд відомих маршрутів механічної обробки подібних деталей в умовах даного типу виробництва

Оскільки деталь можна віднести до класу корпус, то розглянемо деталь даного типу і технологічний процес для неї.

Таблиця 2.7 - Маршрут механічної обробки деталі типу «Корпус»

Номер операції	Назва і короткий зміст операції, технологічні бази	Верстат
1	2	3
005	Свердлильно-фрезерна з ЧПК Фрезерування площини та кріпильних отворів, що в подальшому використовуються як чистові бази	Фрезерний з ЧПК 6P11Ф3
010	Фрезерна Фрезерування всіх площин та торців. Технологічні бази – поверхня та отвори оброблені на операції 005	Фрезерний 6P10

015	Фрезерна Фрезерування канавок, шліців. Технологічні бази – поверхня та отвори оброблені на операції 005	Фрезерний 6P10
020	Свердлильна Свердління, зенкерування та розвертання всіх кріпильних отворів. Технологічні бази – поверхня та отвори оброблені на операції 005	Свердлиль- ний 2455
025	Проміжний контроль	
030	Термічна обробка	
035	Шліфувальна Шліфування площин. Технологічні бази – поверхня та отвори оброблені на операції 005	Круглошліфу- вальний 3У10В
040	Внутрішньо-шліфувальна Шліфування отворів. Площина, яка оброблена на операції 035 та 2 отвори.	Внутрішньо- шліфувальний 3Ф227АФ2
045	Кінцевий контроль	

4.2 Вибір способів механічної обробки поверхонь із підвищеними вимогами точності визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні

Відповідно до службового призначення різні поверхні деталі виконують різні функції. Тому вимоги до них можуть бути найрізноманітніші: за точністю, шорсткістю, твердістю тощо. Забезпечуються ці вимоги використанням різних технологічних методів обробки. Їх вибирають з урахуванням габаритних розмірів, методу одержання та параметрів точності вихідної заготовки, властивостей матеріалу, наявності необхідного обладнання та інших факторів.

Визначення кількості ступенів механічної обробки виконується на основі розрахунків за формулою:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{T_3}{T_d} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \dots \cdot \frac{T_i}{T_{i-1}} \cdot \dots \cdot \frac{T_n}{T_d} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \dots \cdot \varepsilon_i = \prod_{i=1}^n \varepsilon_i ; \quad (2.19)$$

де ε – загальне уточнення;

ε_i – окремі ступені уточнення;

n – число ступенів обробки;

T_d – допуск деталі.

T_3 – допуск заготовки;

T_i – окремого ступеня обробки.

Створюючи маршрут обробки поверхні виходять з того, що кожен наступний метод повинен бути більш точним ніж попередній. Технологічний допуск на проміжний розмір і якість поверхні, що отримані на попередньому етапі обробки повинні мати числові значення, за яких можливе.

Відповідно до наведених вище вимог для усіх поверхонь визначена кількість переходів і способи та методи попередньої та остаточної обробки.

Наприклад для розміру $\varnothing 90H7$ загальне уточнення буде рівним:

$$\varepsilon = \frac{1.6}{0.039} = 41,025$$

Для більш спрямованого вибору числа ступенів механічної обробки скористаємося формулою:

$$n = \lg \varepsilon / 0.46 \quad (2.20)$$

Тобто підставивши числові значення в даному випадкові отримаємо:

$$N = \lg 41,025 / 0,46 = 3,5$$

Отже можна проводити обробка за три або чотири переходи. Для зменшення трудомісткості обробки приймаємо три переходи і призначаємо:

$$\varepsilon_1 = 5$$

$$\varepsilon_2 = 3,8$$

Відповідно тоді ступень уточнення другого переходу складатиме:

$$\varepsilon_3 = \varepsilon / \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \quad (2.21)$$

Тобто:

$$\varepsilon_3 = 41,025 / 5 \cdot 3,8 = 2,16$$

Допуск після першого переходу складатиме:

$$T_1 = 1,6 / 5 = 0,32 \text{ (мм)}$$

$$T_2 = 0,32 / 3,8 = 0,084 \text{ (мм)}$$

Після першого переходу механічної обробки ми отримуємо поверхню 12 квалітету, а вже після другого переходу - 9 квалітету. Оскільки обробляється отвір, то доцільно використати метод обробки – розточування.

Метод обробки і кількість ступенів механічної обробки визначається аналогічно, а всі результати занесено до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Визначення способів і кількості ступенів механічної обробки

Поверхневий розмір	Загальне уточнення	Кількість ступенів механічної обробки	Допуск	Квалітет	Вид механічної обробки
Ø90H7	$\varepsilon=41,025$	$\varepsilon_1=5$	$T_1=0,32$	12	Розточування попер.
		$\varepsilon_2=3,8$	$T_2=0,084$	9	Розточування попер.
		$\varepsilon_3=2,16$	$T_3=0,039$	8	Розточування остат.
Ø20H8	$\varepsilon=0,15/0,022=6,8$	$\varepsilon_1=4$	$T_3=0,15$	12	Свердління
		$\varepsilon_2=1,7$	$T_1=0,0375$	10	Зенкерування
			$T_2=0,022$	8	Розвертання

2.5 Вибір чистових і чорнових технологічних баз

Одним із найскладніших і принципових розділів проектування технологічних процесів є призначення технологічних та вимірювальних баз. Від правильного вибору технологічних баз значною мірою залежать: фактична точність виконання розмірів; правильність взаємного розташування поверхонь; ступінь складності пристроїв, різальних та вимірювальних інструментів; загальна продуктивність обробки заготовок. Основні положення, що стосуються технології, класифікації та теорії базування викладені в ГОСТ 21495-76.

Вихідними даними при виборі баз є: робоче креслення деталі, технічні умови на її виготовлення, вид заготовки та стан її поверхонь, бажаний ступінь автоматизації.

При виборі чистових баз ми маємо мінімізувати похибку базування на отримуваних розмірах. Схема базування На операції 010 обробляється ряд поверхонь. При цьому використовується схема базування показана на

рисункові.

Похибка базування складатиме:

$\epsilon_{\delta(54,5)} = 0$ – виконується принцип співпадання технологічної і вимірної баз.

$\epsilon_{\delta(M10)} = 0$ – діаметральний розмір;

На операції 015 фрезерується паз, при цьому використовується схема базування на площину та два пальці. Похибка базування в даному випадкові відсутня, оскільки він виконується мірним інструментом.

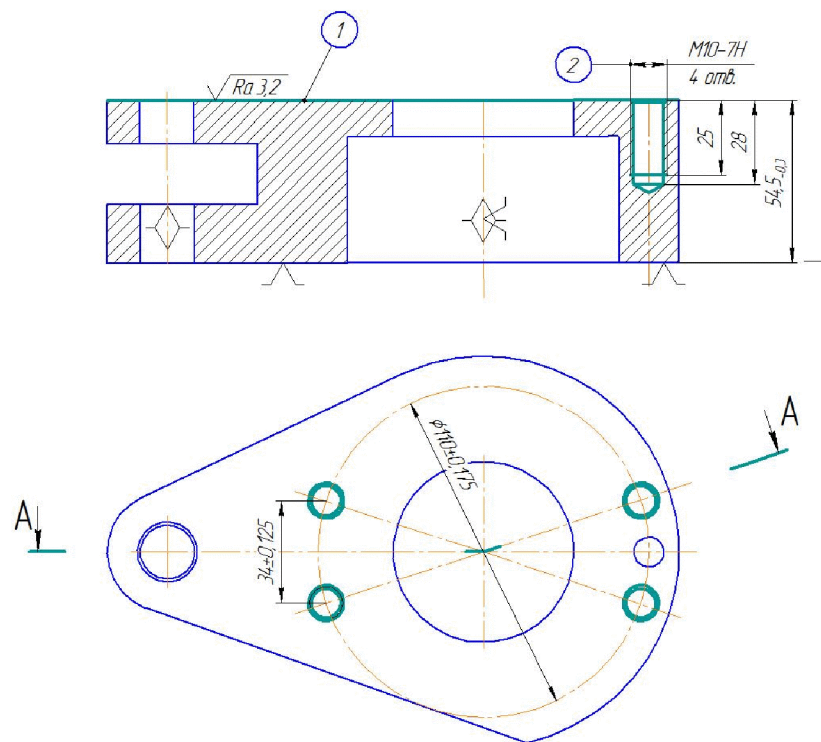


Рисунок 2.4 – Чистові технологічні бази

На операції 020 виконується свердління отвору на прохід, тому похибка базування теж відсутня, оскільки отримується діаметральний розмір. Похибка виникає лише на глибину нарізання різі і рівна 0,039 мм, що значно менше допуску на розмір 10 (0,2 мм.)

При виборі чорнових технологічних баз має вирішуватися одна із двох задач: зняття рівномірного мінімального припуску з поверхні при подальшій механічній обробці чи зв'язок оброблюваних і необроблюваних поверхонь.

В якості чорнових технологічних баз доцільно використати схему базування на площину, торець і з підпором одного торця призмою. Це забезпечить зняття рівномірного мінімального припуску з площини при подальшій механічній обробці.

При запропонованій схемі базування, виконується зв'язок оброблюваних і необроблюваних поверхонь.

Отже при виконанні механічної обробки з використанням даних чистових і чорнових баз забезпечить виготовлення якісних деталей, які будуть відповідати вказаним на кресленні вимогам.

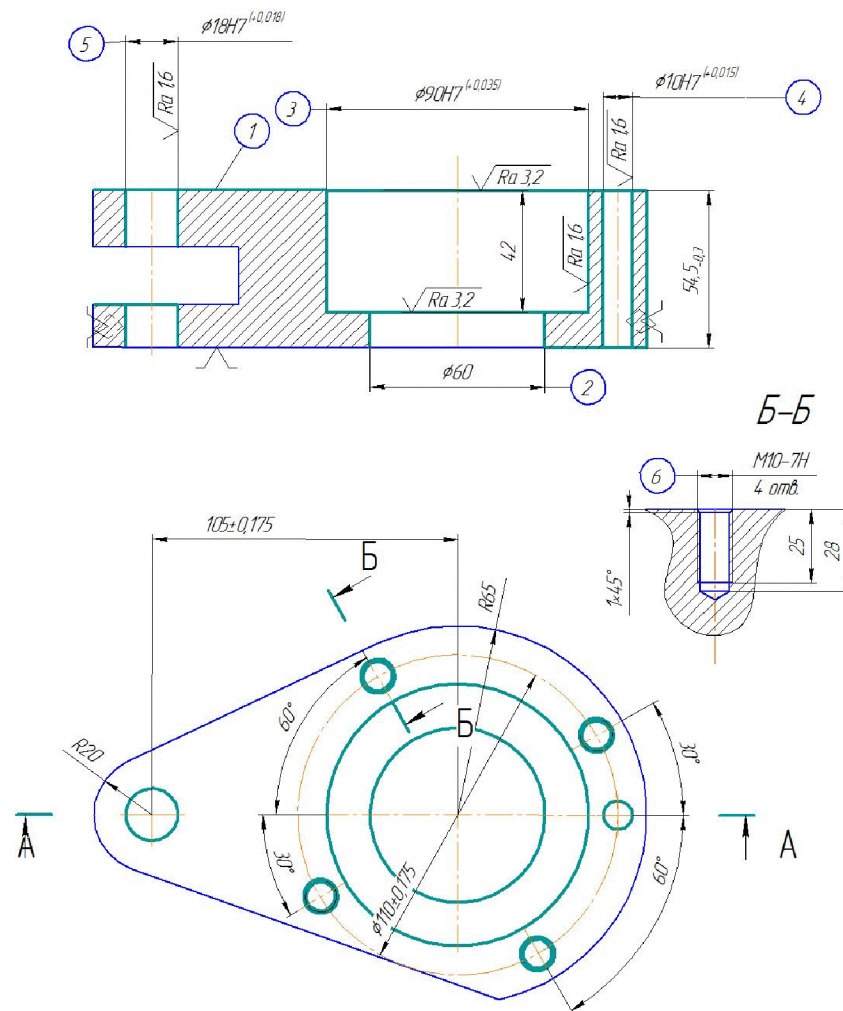
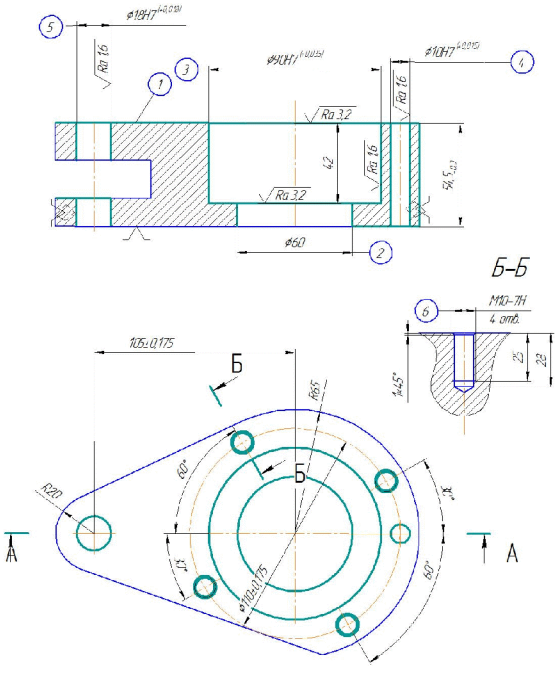


Рисунок 2.5 – Чорнові технологічні бази

2.6 Проектування маршруту механічної обробки з розробкою змісту операцій, попереднім вибором верстатів та зображенням схем базування

Таблиця 2.9 – Маршрут механічної обробки

№	Зміст операцій та переходів	Ескіз та схема установки	Модель верстату
1	2	3	4
005	<p>Фрезерно-свердлильно-розточувальна</p> <p>1 ВЗЗ</p> <p>2 Фрезерувати площину 1</p> <p>3 Розточити отвір 2</p> <p>4 Розточити отвір 3</p> <p>5 Розточити отвір 3 попередньо</p> <p>6 Розточити отвір 3 остаточно</p> <p>7 Центрувати отвори 4,5 та 6</p> <p>8 Свердлити отвір 5</p> <p>9 Зенкувати фаску в отворі 5</p> <p>10 Зенкерувати отвір 5</p> <p>11 Розвернути отвір 5</p> <p>12 Свердлити отвір 4</p> <p>13 Зенкерувати отвір 4</p> <p>14 Розвернути отвір 4</p> <p>15 Свердлити отвори 6</p> <p>16 Зенкувати фаску в отворах 6</p> <p>17 нарізати різь в отворах 6</p> <p>18 Зняти деталь</p>		Вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний 2254ВМФЗ

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4
010	<p>Фрезерно-свердлильна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Фрезерувати площину 3 Центрувати 4 отвори 2 4 Свердлити 4 отвори 2 5 Зенкувати фаску в 4 отворах 2 6 Нарізати різь в 4 отворах 2 7 Зняти деталь 		<p>ЧПК 3 фрезерний Вертикальний 6P13PФ3</p>
015	<p>Горизонтально-фрезерна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Фрезерувати паз 1 3 Зняти деталь 		<p>Горизонтально- фрезерний 6T82Г</p>
020	<p>Свердлильна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Центрувати отвір 1 3 Свердлити отвір 1 4 Розсвердлити отвір 1 5 Зенкувати фаску в отворі 1 6 Нарізати різь в отворі 1 7 Зняти деталь 		<p>ЧПК 3 свердлильний Вертикально- 2P135Ф3</p>

2.7 Розмірний аналіз технологічного процесу

Головна задача розмірного аналізу технологічного процесу – правильне та обґрунтоване визначення проміжних та остаточних розмірів і допусків на них. Особливо цього потребують проміжні розміри, що зв'язують протилежні поверхні. Визначення припусків на такі поверхні розрахунково-аналітичним або табличним методом дуже трудомістке. В той же час робота на налагоджених верстатах потребує детальної проробки всіх проміжних розмірів з тим, щоб на заключних переходах автоматично забезпечуватись остаточні розміри. Правильне розв'язання цієї задачі забезпечує розмірний аналіз технологічного процесу.

Технологічні розміри слід розташовувати таким чином, що мінімізувати похибку базування і забезпечити можливість його контролю універсальним інструментом. Наприклад технологічний розміри B_1 , B_2 зв'язують два торця, що дозволяє легко проконтролювати розмір, наприклад за допомогою штангенциркуля. Розташування розмірів B_3 , B_4 забезпечує мінімальну похибку базування на ці розміри, яка фактично є рівна нулеві, оскільки поверхні які зв'язують ці розміри виконуються з одного установу. Розміри заготовки розташовані таким чином, щоб забезпечити легкість їх контролю універсальним інструментом

Таблиця 2.10 – Попередні допуски технологічних розмірів.

Розмір	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	Z_1	Z_2
Допуск, мм	1	0,62	0,58	0,84	0,52	1,6	1,3

Одним із перших етапів розмірного аналізу є побудова розмірної схеми технологічного процесу.

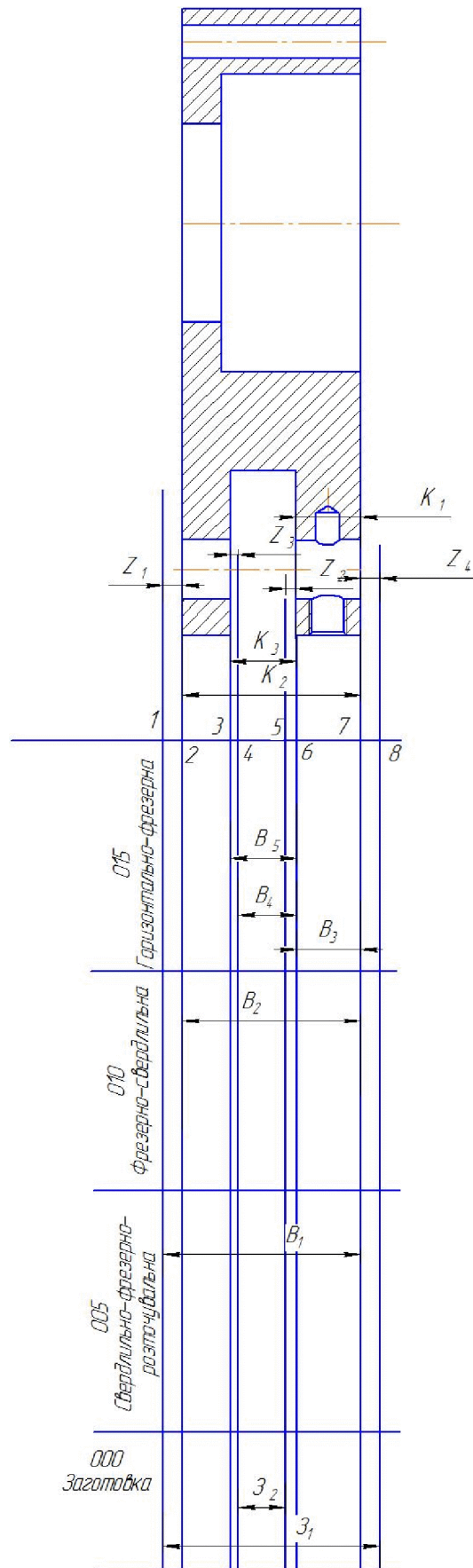


Рисунок 2.6 – Розмірна схема першого технологічного процесу

Граф, складений із конструкторських розмірів $K_1K_2\dots$ і припусків називається вихідним графом (деревом).

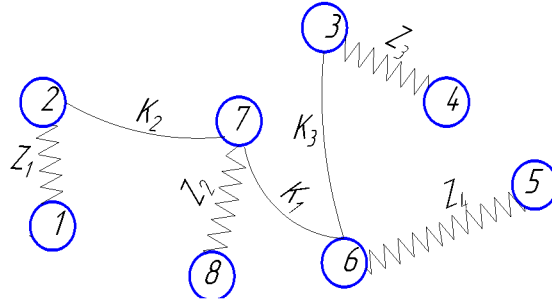


Рисунок 2.7 – Вихідний граф

Граф, складений із технологічних розмірів $B_1B_2\dots$ і розмірів заготовки $Z_1Z_2\dots$ називається похідним графом.

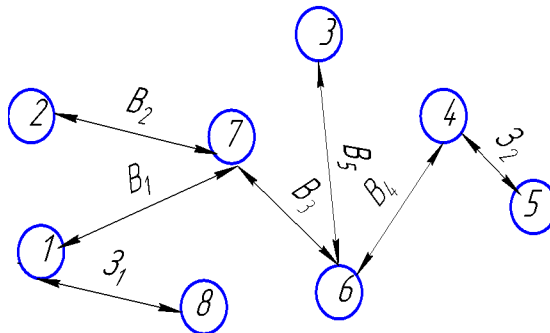


Рисунок 2.8 – Похідний граф

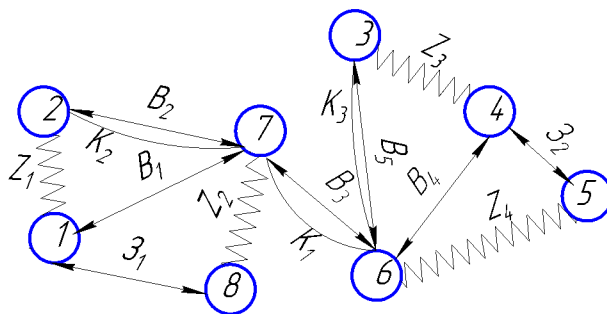


Рисунок 2.9 – Суміщений граф-дерево

Правильність побудови кожного дерева перевірена за такими ознаками:

- число вершин у кожного дерева дорівнює числу поверхонь на розмірній схемі технологічного процесу;
- число ребер у кожного дерева дорівнює числу вершин, зменшеному на одиницю;
- до кожної вершини похідного дерева, крім кореневої, підходить лише одна стрілка орієнтованого ребра, а до кореневої вершини – жодної;
- суміщене граф-дерево має замкнені контури.

Для проведення необхідних розрахунків в подальшому необхідно визначити проміжні мінімальні припуски за довідником [6]. При цьому, оскільки в даному випадкові розглядаються лише торці, які входять в один діапазон, то мінімальний припуск буде:

$$Z_{1 \min} = Z_{2 \min} = Z_{3 \min} = Z_{4 \min} = 1,8 \text{ (мм);}$$

Використовуючи граф-дерева заносимо розрахункові рівняння до таблиці 2.11

Таблиця 2.11 – Рівняння розрахунку розмірних технологічних ланцюгів

Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Невідома ланка
$K_2 - B_2 = 0$	$K_2 = B_2$	B_2
$K_1 - B_3 = 0$	$K_1 = B_3$	B_3
$K_3 - B_5 = 0$	$K_3 = B_5$	B_5
$B_1 - Z_1 - B_2 = 0$	$Z_1 = B_1 - B_2$	B_1
$B_4 + Z_3 - B_5 = 0$	$Z_3 = B_5 - B_4$	B_4
$Z_2 + B_1 - Z_3 = 0$	$Z_2 = Z_3 - B_1$	Z_3
$Z_4 + B_4 - Z_2 = 0$	$Z_4 = Z_2 - B_4$	Z_2

Наведемо значення конструкторських розмірів:

$$K_1 = 20(\pm 0,29)$$

$$K_2 = 54(-0,62)$$

$$K_3 = 20(\pm 0,26)$$

$$B_2 = K_2 = 54(-0,62)$$

$$B_{2 \min} = 53,38 \text{ MM}; B_{2 \max} = 54 \text{ (MM)};$$

$$B_3 = K_1 = 20(\pm 0,29)$$

$$B_{3 \min} = 20,71 \text{ MM}; B_{3 \max} = 20,29 \text{ (MM)}.$$

$$B_5 = K_3 = 20(\pm 0,26)$$

$$B_{5 \min} = 19,74 \text{ MM}; B_{5 \max} = 20,26 \text{ (MM)}.$$

$$Z_{1 \min} = B_{1 \min} - K_{2 \max}$$

$$B_{1 \min} = Z_{1 \min} + K_{2 \max} = 54 + 1,8 = 55,8 \text{ (MM)};$$

$$B_{1 \max} = B_{1 \min} + IT(B_1) = 55,8 + 1 = 56,8 \text{ (MM)}.$$

$$B_1 = 56,3(\pm 0,5)$$

$$Z_{1 \max} = B_{1 \max} - K_{2 \min}$$

$$Z_{1 \max} = 56,8 - 53,38 = 3,42 \text{ (MM)}$$

$$Z_{3 \min} = -B_{4 \max} + K_{3 \min}$$

$$B_{4 \max} = -Z_{3 \min} + K_{3 \min} = 19,74 - 1,8 = 17,94 \text{ (MM)};$$

$$B_{4 \min} = B_{4 \max} - IT(B_4) = 17,94 - 0,84 = 17,1 \text{ (MM)}.$$

$$B_4 = 17,52(\pm 0,42)$$

$$Z_{3 \max} = -B_{4 \min} + K_{3 \max}$$

$$Z_{3 \max} = 20,26 - 17,1 = 3,16 \text{ (MM)}$$

$$Z_{2 \min} = -B_{1 \max} + 3_{1 \min}$$

$$3_{1 \min} = 56,8 + 1,8 = 58,6 \text{ (MM)};$$

$$3_{1 \max} = 58,86 + 1,6 = 60,2 \text{ (MM)};$$

$$3_1 = 59,4(\pm 0,8)$$

$$Z_{2 \max} = -B_{1 \min} + 3_{1 \max}$$

$$Z_{2 \max} = 60,2 - 56,8 = 3,4 \text{ (MM)}$$

$$Z_{4 \min} = -B_{4 \max} + 3_{2 \min}$$

$$3_{2 \min} = 1,8 + 17,94 = 19,74 \text{ (MM)};$$

$$Z_{2 \max} = 19,74 + 1,3 = 21,04 \text{ (мм);}$$

$$Z_2 = 20,39 (\pm 0,65)$$

$$Z_{4 \max} = -B_{4 \min} + Z_{2 \max}$$

$$Z_{4 \max} = 21,04 - 17,1 = 3,94 \text{ (мм)}$$

Таблиця 2.12 – Значення технологічних розмірів, розмірів заготовки та їх допуски

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номинальний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на креслені вихідної заготовки
	Мінімальний розмір	Максимальний розмір				
Z ₁	58,6	60,2	1,6	59,4		59,4(±0,8)
Z ₂	19,74	21,04	1,3	20,39		20,39(±0,65)
B ₁	56,8	57,8	1,0	57,3	57,3(±0,5)	
B ₂	543,38	54	0,62	54	54 _{-0,62}	
B ₃	20,71	20,29	0,58	20	20(±0,29)	
B ₄	17,1	17,94	0,84	17,52	17,52(±0,42)	
B ₅	19,74	20,26	0,52	20	20(±0,26)	

Таблиця 2.13 – Припуски на механічну обробку

Припуск	Мінімальний, мм	Максимальний, мм
Z ₁	1,8	3,42
Z ₂	1,8	3,4
Z ₃	1,8	3,16
Z ₄	1,8	3,94

Отже визначено технологічні розміри при механічній обробці, припуски та розміри заготовки, на їх основі можна розробляти технологічний процес та усю документацію пов'язану із ним.

2.8 Розрахунок проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні

Визначення значень R і T проводимо відповідно до рекомендацій наведених в (1), враховуючи, що для заготовки дані параметри рівні 600 мкм. При попередньому розточуванні приймаємо $R_Z = T = 100$ мкм, а на наступному переході відповідно 50 мкм, при чистовому розточуванні – 30 мкм.

Сумарне значення просторових відхилень згідно (1) визначається:

$$\rho = \sqrt{\rho_{\text{жол}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2} \text{ [мкм]} \quad (2.21)$$

де $\rho_{\text{жол}}$ – просторові відхилення спричинені жолобленням

$\rho_{\text{зм}}$ – відхилення за рахунок зміщення поверхні з якої знімається припуск, під час самої обробки, відносно технологічних баз. Для даної деталі відповідно:

$$\rho_{\text{жол}} = \sqrt{(0,7 \cdot 40)^2 + (0,7 \cdot 106)^2} = 79,3 \text{ (мкм)}$$

$$\rho_{\text{зм}} = 220 \text{ (мкм)}$$

$$\rho = \sqrt{79,3^2 + 220^2} = 233 \text{ (мкм)}$$

При подальших переходах механічної обробки:

$$\rho_n = k \cdot \rho_{n-1} \text{ [мкм]} \quad (2.22)$$

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 233 = 14 \text{ (мкм)}$$

$$\rho_2 = 0,05 \cdot 14 = 0,7 \text{ (мкм)}$$

Похибка установки при чорновому розточуванні:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} \text{ [мм]} \quad (2.23)$$

де ε_6 – похибка базування, що в даному випадкові рівна нулеві;

ε_3 – похибка закріплення, в даному випадкові складає 140 мкм.

Відповідно похибка установки:

$$\varepsilon_1 = 140 \text{ (мкм)}$$

При повторному попередньому розточуванні похибка установки, внаслідок того, що переходи виконуються в одному пристосуванні складатиме:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \cdot 0,05 = 140 \cdot 0,05 = 7 \text{ (мкм)}$$

На основі отриманих вище даних проводимо розрахунок мінімальних значень міжопераційних припусків, користуючись формулою:

$$2Z_{i\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \text{ [мкм]} \quad (2.24)$$

Мінімальний припуск під точіння:

Попереднє розточування:

$$2Z_{1\min} = 2(600 + 600 + \sqrt{233^2 + 140^2}) = 2 \cdot 1472 \text{ (мкм)}$$

попереднє розточування:

$$2Z_{2\min} = 2(100 + 100 + \sqrt{14^2 + 7^2}) = 2 \cdot 216 \text{ (мкм)}$$

остаточне розточування:

$$2Z_{3\min}=2(50+50+0,7)=2\cdot 100,7 \text{ (мкм)}$$

При остаточному розточуванні маємо отримати розмір вказаний на креслені:

$$d=90,039 \text{ (мм)}$$

Наступні розміри отримуємо послідовним відніманням розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу. Таким чином отримуємо:

Для остаточного розточування:

$$D_1=90,039-2\cdot 0,1007=89,8376 \text{ (мм)}$$

для попереднього розточування:

$$d_2=89,8376 -2\cdot 0,216=89,4056 \text{ (мм)}$$

для попереднього розточування:

$$d_3=89,4056-2\cdot 1,472=86,4616 \text{ (мм)}$$

Значення допусків кожного переходу приймаються по таблицям відповідно до квалітету того чи іншого виду обробки занесено до таблиці.

Максимальні граничні розміри отримуються по розрахунковим розмірам заокругленим до точності допуску відповідного переходу.

Мінімальні граничні розміри визначаються шляхом віднімання від найбільших граничних розмірів допусків відповідних переходів.

Тобто:

$$89,84-0,1=89,74 \text{ (мм)}$$

$$89,40-0,25=89,15 \text{ (мм)}$$

$$86,46-0,62=85,84 \text{ (мм)}$$

Граничні значення припусків:

Мінімальні граничні значення припусків Z_{\min} рівні різниці найбільших граничних розмірів виконуваного і попереднього переходів, а максимальне значення Z_{\max} – відповідно різниця найменших граничних розмірів.

для остаточного розточування:

$$2Z_{\min 3}=90,039-89,84=0,199 \text{ мм}=199(\text{мкм})$$

$$2Z_{\max 3}=90-89,74=0,26\text{мм}=260(\text{мкм})$$

для попереднього розточування:

$$2Z_{\min 2}=89,84-89,4=0,44\text{мм}=440(\text{мкм})$$

$$2Z_{\max 2}=89,74-89,15=0,59\text{мм}=590(\text{мкм})$$

для попереднього розточування:

$$2Z_{\min 1}=89,4-86,46=2,94\text{мм}=2940(\text{мкм})$$

$$2Z_{\max 1}=89,15-85,84=3,31\text{мм}=3310(\text{мкм})$$

Всі результати проведених розрахунків записано в таблицю 4.8.

Загальні припуски $Z_{0\min}$ і $Z_{0\max}$ визначаємо сумуючи проміжні припуски:

$$2Z_{0\min}=199+440+2940=3589 \text{ (мкм)}$$

$$2Z_{0\max}=3310+590+260=4160 \text{ (мкм)}$$

Виконуємо перевірку вірності виконаних розрахунків:

$$2Z_{\max 3}-2Z_{\min 3}=3310-2940=370 \text{ (мкм)}$$

$$\delta_3-\delta_4=620-250=370 \text{ (мкм)}$$

$$2Z_{\max 2}-2Z_{\min 2}=590-440=150 \text{ (мкм)}$$

$$\delta_2-\delta_3=250-100=150 \text{ (мкм)}$$

$$2Z_{\max 1}-2Z_{\min 1}=260-199=61 \text{ (мкм)}$$

$$\delta_1-\delta_2=100-39=61 \text{ (мкм)}$$

Отже всі проведені розрахунки є правильними і не потребують уточнення.

Визначення оптимальних припусків на обробку тісно пов'язане із встановленням проміжних та початкових розмірів заготовки. Ці розміри необхідні для конструювання штампів, спеціального різального та вимірювального інструменту, а також для настроювання металорізальних верстатів та іншого технологічного обладнання. На основі визначених припусків можна обгрунтовано визначити масу початкових заготовок, режими різання, а також норми часу на виконання операцій механічної обробки.

В машинобудування використовують дослідно - статистичний та розрахунково – аналітичний методи встановлення припусків на обробку. В попередньому розділі використано розрахунково-аналітичний метод, що базується на урахуванні конкретних умов виконання технологічного процесу обробки

Згідно з дослідно- статистичним методом загальні та проміжні припуски визначаються за таблицями, в яких узагальнено і систематизовано виробничі дані передових машинобудівних підприємств. Недоліком цього методу є те, що припуски, як правило, визначаються без урахування конкретних умов виконання технологічних операцій та переходів. Дослідно- статистичні припуски в багатьох випадках завищені, оскільки вони орієнтовані на такі умови обробки, коли для уникнення браку припуск повинен бути

максимальним. Дослідно- статистичний метод простий, однак змушує технолога приймати рішення догматично, не аналізуючи умови виконання операцій та не шукаючи шляхів економії металу.

Використовуючи даний метод визначимо припуски на циліндричні поверхні барабану. На зовнішню циліндричну поверхню згідно довідникових таблиць приймаємо припуск рівний 3,6 мм на діаметр.

Таблиця 2.14 - Припуски на циліндричні поверхні

Розмір деталі	Стадія обробки	Припуск на перехід	Отримуваний розмір
R9	Заготовка		6
	Розсвердлювання	3	9
Ø8H8	Свердління	3,5	Ø7
	Зенкерування	0,6	Ø7,6
	Розвертання	0,4	Ø8
Ø48	Заготовка		Ø46
	Розточування	2	Ø48

Таблиця 2.15 - Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічним переходам

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 90$	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків	
	R_z	T	ρ	$2Z_{\min}$	d_p	δ	d_{\min}	d_{\max}	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	600	600	233		86,46	620	85,84	86,46		
розточування попереднє	100	100	14	2944	89,4	250	89,15	89,4	2940	3310
розточування попереднє	50	50	0,7	532	89,84	100	89,74	89,84	440	590
розточування остаточне	30	30	-	201,4	90,039	39	90	90,039	199	260
Ітого									3589	4160

2.9 Визначення режимів різання на обробку конструкторських баз і кріпильних отворів

Режими обробки деталі – найважливіший фактор протікання технологічного процесу. Режим різання металу містить такі основні елементи:

- глибину різання t , мм;
- подачу s , мм/об;
- швидкість різання v , м/хв (частота обертання шпинделя верстата n , об/хв, або число подвійних ходів n , подв. х/хв).

Елементи режимів різання повинні підібратися так, щоб досягти бажаної продуктивності праці при найменшій собівартості операції. Ця вимога досягається використанням інструмента раціональної конструкції (правильно підібраний матеріал ріжучої частини, найвигідніша геометрія, достатня міцність і жорсткість), а також якщо верстат не обмежує його різальних властивостей. Таким чином режими різання встановлюються, виходячи з властивостей оброблюваної деталі, характеристики різального інструмента і верстата. Спочатку встановлюють глибину різання, потім подачу і в останню чергу – швидкість різання.

Приведемо приклад розрахунку режимів різання для обробки на верстатах з ЧПК на прикладі виконання переходів 2, 4, 5 операції 005, на яких обробляється отвір.

На даній операції виконується розточування отвору 1 (попередньо, попередньо та остаточно). При цьому знімаються припуски: 1,5; 0,8; 0,4 (мм).

При розточуванні рекомендовані подачі при чорновій, напівчистовій та чистовій обробці складають:

$$S_{от1}=0,68 \text{ (мм/об);}$$

$$S_{от2}= 0,5 \text{ (мм/об);}$$

$$S_{от3} = 0,3 \text{ (мм/об)}.$$

Але для того, щоб врахувати конкретні умови роботи інструменту визначимо комплекс коефіцієнтів, для чорнового та напівчистового розточування.:

1 Коефіцієнт, що залежить від виду інструментального матеріалу (в даному випадкові Т14К8);

$$K_{SU}=1;$$

2 Коефіцієнт, що залежить від способу кріплення пластини (механічне кріплення);

$$K_{SP}=1,1;$$

3 Коефіцієнт, що враховує механічні властивості оброблюваного матеріалу:

$$K_{sm}=1;$$

4 Коефіцієнт, що залежить від стану поверхні:

$$K_{сп}=0,85;$$

5 Коефіцієнт, що враховує геометричні параметри різця:

$$K_{S\phi}=0,95;$$

6 Коефіцієнт, що враховує виліт різця:

$$K_{SI}=0,95.$$

7 Коефіцієнт, що враховує діаметр деталі:

$$K_{SD}=0,8.$$

Загальний коефіцієнт становить:

$$K=1 \cdot 1,1 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,85 \cdot 1=0,675$$

Відповідно подача складатиме:

$$S_{o1}=0,68 \cdot 0,675=0,439 \text{ (мм/об);}$$

$$S_{o12}=0,5 \cdot 0,675=0,3375 \text{ (мм/об)}$$

Для чистового розточування поправочні коефіцієнти складають:

1 Коефіцієнт, що залежить від виду інструментального матеріалу (в даному випадкові Т14К8);

$$K_{SU}=1;$$

2 Коефіцієнт, що враховує механічні властивості оброблюваного матеріалу:

$$K_{sm}=1,2;$$

3 Коефіцієнт, що залежить від радіуса вершини різця:

$$K_{sr}=0,8;$$

4 Коефіцієнт, що враховує кінематичний кут в плані:

$$K_{\varphi K}=0,95;$$

5 Коефіцієнт, що враховує виліт різця:

$$K_{SI}=0,9.$$

6 Коефіцієнт, що враховує квалітет оброблюваної деталі:

$$K_{SK}=1.$$

Загальний коефіцієнт становить:

$$K=1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 1=0,684$$

Відповідно подача складатиме:

$$S_{03}=0,3 \cdot 0,684=0,21 \text{ (мм/об)}$$

Швидкість різання визначається за таблицями і складає:

$$V_{\text{різ1}}=185 \text{ (м/хв);}$$

$$V_{\text{різ2}}=203 \text{ (м/хв);}$$

$$V_{\text{різ3}}=395 \text{ (м/хв)}$$

При цьому потужність складає:

$$P_1=8,2 \text{ (кВт);}$$

$$P_2=7,5 \text{ (кВт);}$$

Але для того щоб врахувати умови в яких виконується процес, вид інструменту і стан деталі введемо поправочні коефіцієнти:

1 Коефіцієнт, що враховує вид інструментального інструменту, для попереднього розточування матеріал інструменту Т15К6 і відповідно:

$$K_{vi}=1;$$

Для остаточного розточування – матеріал інструменту Т30К4, коефіцієнт відповідно складає:

$$K_{vi}=0,8;$$

2 Коефіцієнт, що враховує групу оброблюваності матеріалу:

$$K_{vc}=1;$$

3 Коефіцієнт, що враховує жорсткість верстату:

$$K_{vj}=0,75;$$

4 коефіцієнт, що враховує механічні властивості оброблюваного матеріалу:

$$K_{vm}=1;$$

5 Коефіцієнт, що враховує геометричні параметри різця:

$$K_{v\varphi}=0,95;$$

6 Коефіцієнт, що враховує період стійкості ріжучої частини інструменту:

$$K_{vT}=1,1;$$

7 Коефіцієнт, що враховує наявність охолодження (без охолодження):

$$K_{vж}=0,75$$

8 Коефіцієнт, що враховує вид обробки:

$$K_{vo}=0,9.$$

Загальний коефіцієнт складає:

$$K_1=1 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1,1 \cdot 0,75 \cdot 0,9=0,53$$

$$K_2=0,8 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1,1 \cdot 0,75 \cdot 0,9=0,42$$

Отже швидкість різання складатиме:

$$V_{\text{різ1}}=185 \cdot 0,53=98,05 \text{ (м/хв)};$$

$$V_{\text{різ2}}=203 \cdot 0,53=107,59 \text{ (м/хв)};$$

$$V_{\text{різ3}}=395 \cdot 0,42=165,9 \text{ (м/хв)};$$

Частота обертання шпинделя визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} [\text{об/хв}] \quad (4.8)$$

Відповідно отримаємо:

$$n_1=1000 \cdot 98 / 3.14 \cdot 90=303,05 \text{ (об/хв)};$$

$$n_3=1000 \cdot 108 / 3.14 \cdot 90= 382,166 \text{ (об/хв)};$$

$$n_4=1000 \cdot 166 / 3.14 \cdot 90= 587,4 \text{ (об/хв)}$$

Оскільки на верстаті безступінчаста коробка швидкостей, то приймаємо частоту обертання:

$$n_1=303 \text{ (об/хв)};$$

$$n_3=382 \text{ (об/хв);}$$

$$n_4=587 \text{ (об/хв)}$$

Хвилинна подача визначається за формулою:

$$S_M = n \cdot S_O \text{ [мм/хв]} \quad (4.9)$$

В даному випадкові отримуємо:

$$S_{M1}=303 \cdot 0,439=133 \text{ (мм/хв);}$$

$$S_{M2}=347 \cdot 0,439=133 \text{ (мм/хв);}$$

$$S_{M3}=382 \cdot 0,33=126 \text{ (мм/хв);}$$

$$S_{M4}=587 \cdot 0,21=123,27 \text{ (мм/хв).}$$

Отримані результати заносимо до таблиці 2.16.

Таблиця 2.16- Режими різання на розточування отвору Ø32

Перехід	Глибина, мм	Таблична подача, мм/об	Прийнята подача, мм/об	Таблична швидкість різання, м/хв	Прийнята швидкість різання, м/хв	Частота обертання шпинделя, об/хв	Хвилинна подача
Розточування отвору Ø90 попереднє	1,5	0,68	0,44	185	98	347	152,3
Розточування отвору Ø90 попереднє	0,8	0,5	0,33	203	107	382	126
Розточування отвору Ø90 остаточне	0,4	0,3	0,21	395	166	587	123,27

Для всіх інших переходів режими різання розраховані аналогічно за нормативами, результати розрахунку приведені в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 - Режими різання

Операції, переходи	припуск к	Режими різання		
		S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв
1	2	3	4	5
005 Свердлильно-фрезерно-розточна				
Фрезерувати площину 1	1,5	0,44	98	347

Продовження таблиці 2.17

1	2	3	4	5
Розточити отвір 2	0,4	0,21	168	587
Розточити отвір 3	1,6	0,44	98	328
Розточити отвір 3 попередньо	0,8	0,33	107	382
Розточити отвір 3 остаточно	0,4	0,21	168	587
Центрувати отвори 4,5 та 6	2	0,3	16	650
Свердлити отвір 5	4	0,42	21,42	620
Зенкувати фаску в отворі 5	2	0,3	16	650
Зенкерувати отвір 5	4	0,12	15	1152
Розвернути отвір 5	5	0,3	18	650
Свердлити отвір 4	2	0,3	16	648
Зенкерувати отвір 4	1	1,25	14,1	374
Розвернути отвір 4	4	0,3	18	664
Свердлити отвори 6	1	0,14	280	1420
Зенкувати фаску в отворах 6	1,5	0,14	280	1386
010 Фрезерно-свердлильна				
Фрезерувати площину 1	2	0,14	300	1910
Свердлити отвір 2	2	0,3	16	650
Зенкувати Фаску в отворі 2	1,2	0,3	17	940
Нарізати різь в отворах 2	1	0,12	9	125

015 Горизонтально-фрезерна				
Фрезерувати паз	1,8	0,12	210	1456
020 Свердлильна з ЧПК				
Центрувати отвір 1	2,5	0,13	23,37	1488
Свердлити отвір 1	4	0,12	15	1152
Розсвердлити отвір 1	5	0,3	18	650
Зенкувати фаску в отворі 1	2	0,3	16	648
Нарізати різь в отворі 1	1	1,25	14,1	374

2.10 Визначення технічних норм часу для всіх операцій

Нормування в машинобудуванні – це встановлення технічно обґрунтованих норм часу. Нормування технологічних процесів здійснюють для кожної операції. Технічною нормою часу називають час, необхідний для виконання технологічної операції в певних організаційно-технічних умовах конкретного виробництва. Розрізняють три методи нормування: технічного розрахунку за нормативами; порівняння і розрахунку за підвищеними типовими нормативами: встановлення норм на основі вивчення затрат робочого часу. При першому методі тривалість операції встановлюють розрахунком за мікроелементами на основі аналізу послідовності і змісту дій робітника і верстата. При другому методі норму часу визначають наближено, за підвищеними типовими нормативами. При третьому методі норму часу встановлюють на основі хронометражу. Цей метод має особливе значення для вивчення і узагальнення передових прийомів праці. Скористаємося першим методом розрахунку, при цьому врахуємо, що визначення норм часу для верстатів з ЧПК дещо відрізняється від загально прийнято для універсальних і спеціальних верстатів. Приведемо приклад розрахунку на операції 005.

Норма штучного часу згідно [7] визначається за формулою:

$$T_{ш} = (T_{ц.а.} + T_{в}) \cdot \left(1 + \frac{a_{тех} + a_{орг} + a_{від}}{100}\right) [хв] \quad (2.25)$$

де $T_{в}$ – допоміжний час, що складається із:

$$T_{в} = T_{вуст} + T_{воп} + T_{ввим} [хв] \quad (2.26)$$

$T_{вуст}$ – допоміжний час на установку і зняття деталі, згідно довідника для даної операції складає 0,21 хв;

$$T_{ввим} = 0,08 \cdot 2 + 0,035 = 0,195 (хв)$$

Таблиця 2.18 – Час на виконання автоматичного циклу

Ділянка траєкторії (номери позицій інструментів попереднього і Довжина і-ї ділянки	Хвилинка подача на ділянці	Основний час автоматичної роботи верстату по програмі, T_0 , хв	Машинний допоміжний час. $T_{мв}$, хв
1	2	3	4
Інструмент №3-№1			0,02
0-1	250	4000	-
1-2	40	152,68	0,262
2-3	5	4000	-
3-4	290	4000	-
Інструмент №3-№1			0,02
0-1	250	4000	-
1-2	40	126,06	0,317

2-3	5	4000	-	0,00125
3-4	290	4000	-	0,0725
Інструмент №3-№1				0,02
0-1	250	4000	-	0,0625
1-2	40	123,27	0,325	-
2-3	5	4000	-	0,00125
3-4	290	4000	-	0,0725
Всього			0,904	0,46875

$T_{\text{воп}}$ - допоміжний час пов'язаний із операцією, включає в себе час на вмикання і вимикання верстату, перевірку повернення інструменту в задану точку після обробки, установку і зняття щитка, що запобігає розбризкуванню емульсії, в даному випадкові:

$$T_{\text{воп}}=0,15+0,03=0,18 \text{ (хв)};$$

$T_{\text{вим}}$ – допоміжний час на контрольні вимірювання, що складається в даному випадкові із двох замірів штангенциркулем, одного пробкою, в сумі час затрачений на вимірювальні операції складає:

Час на організаційне і технічне обслуговування робочого місця і особисті потреби приводяться в відсотках від оперативного часу і складають:

$$a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{від}} = 6\% \quad (2.27)$$

$T_{\text{ц.а.}}$ – час на цикл роботи за програмою. Для того щоб визначити дану складову необхідно зобразити шлях за яким рухається інструмент, в даному випадкові він проходить однаковий відрізок траєкторії 250 мм до деталі, потім опускається, виконує механічну обробку і повертається в вихідне положення. Складено таблицю переміщень інструменту, в яку заносяться всі

відстані які проходить інструмент за цикл своєї роботи і хвилинні подачі при цих переміщеннях, при цьому враховується що підводиться і відводиться інструмент на прискореній подачі.

Аналогічно розраховано час автоматичної роботи верстату для виконання інших переходів операції 005, він складає 0,469

Відповідно час на автоматичний цикл складає:

$$T_{\text{ца}}=(0,904+0,469)+1,119=2,492 \text{ (хв)}$$

Відповідно штучно-калькуляційний час складає:

$$T_{\text{шт}}=(2,492+0,585) \cdot 1,06=3,01 \text{ (хв)}$$

Аналогічно проводимо розрахунки для інших операцій, а результати занесемо до таблиці 2.19

Таблиця 2.19 – Штучно-калькуляційний час

№ операцій	Основний час, хв	Штучно-калькуляційний час, хв
005	2,492	3,01
010	1,38	1,84
015	0,78	1,36
020	1,21	1,54

2.11 Розрахунок елементів дільниці механічної обробки

При дрібносерійному типі виробництва використовується приведена програма, що дозволяє розробляти технологічну документацію відразу на декілька виробів, а точніше розробляється технологічний процес на одну деталь представника, а всі інші приводяться до неї за допомогою коефіцієнта приведення, що визначається за такою формулою:

$$K_{\text{пр}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (2.28)$$

де K_1 – коефіцієнт приведення по масі;

K_2 – коефіцієнт приведення по серійності;

K_3 – коефіцієнт приведення по складності.

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{m_i}{m_{\text{пр}}}\right)^2} \quad (2.29)$$

m_i - маса i -ї деталі, $m_{\text{пр}}$ - маса представника

Для деталі Вазіль поворотний1 отримаємо:

$$K_{11} = \sqrt[3]{\left(\frac{1,2}{1,06}\right)^2} = 1,086$$

Коефіцієнт приведення по серійності:

$$K_2 = \left(\frac{N_{\text{пр}}}{N_i}\right)^\alpha \quad (2.30)$$

де N -програма випуску представника, програма випуску i -ї деталі, N -показник степені, що складає для середнього машинобудування 0,15, а для важкого машинобудування 0,2.

В даному випадкові отримаємо:

$$K_{21} = \left(\frac{1800}{2103}\right)^{0,15} = 0,9769$$

Коефіцієнт приведення по складності:

$$K_3 = \left(\frac{\bar{K}_{Ti}}{\bar{K}_{T.pr.}}\right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{\bar{R}_{ai}}{\bar{R}_{a.pr.}}\right)^{\alpha_2} \quad (2.31)$$

$K_{Ti}, K_{T.pr.}$ - середнє значення точності деталі і представника;

$R_{ai}, R_{a.pr.}$ - середнє значення шорсткості деталі і представника.

Для даної деталі коефіцієнт визначається:

$$K_{31} = \left(\frac{14}{14,2}\right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{10}{11,4}\right)^{\alpha_2} = 0,95$$

Коефіцієнт приведення для барабана складає:

$$K_1 = 1,086 \cdot 0,9769 \cdot 0,95 = 1,008$$

Для інших деталей, що виготовлятимуться на дільниці аналогічним чином розраховується коефіцієнт приведення. Отримані результати занесено до таблиці 2.20

Таблиця 2.20 – Приведена програма виробництва

Найменування деталі	Маса кг	Програм випуску, шт	Коефіцієнт приведення			Коефіцієнт приведення	K·N
			по масі	по точності	по серійності		
1	2	3	4	5	6	7	8
Вал	1,06	1800	1	1	1	1	1800
Вал 1	1,2	2103	1,086	0,95	0,9769	1,008	2120
Вал 2	1,3	2400	1,145	0,89	0,9577	0,9766	2344

Вал 3	0,9	1750	0,897	1,1	1,004	0,99	1733
Вал 4	0,8	1400	0,8289	1,085	1,038	0,9339	1308
Вал 5	1,1	2550	1,025	0,98	0,949	0,9534	2431
Вал 6	1,4	2100	1,204	1,02	0,977	1,199	2520
Вал 7	1,5	1850	1,26	0,89	0,996	1,117	2067
Вал 8	1,1	2550	1,025	0,98	0,949	0,95	2431
Вал 9	1,7	1900	1,37	1,02	0,9919	1,386	2634
Вал 10	0,8	1400	0,8289	1,1	1,038	0,9467	1326
Вал 11	0,95	2400	0,929	1,1	0,9577	0,979	2350
Вал 12	1,2	2000	1,086	1,35	0,984	1,44	2887
Вал 13	1,2	2100	1,086	0,95	0,9927	0,943	1980
Вал 14	1,3	2400	1,0548	0,89	0,973	0,913	2192

Продовження таблиці 2.20

1	2	3	4	5	6	7	8
Вал 15	0,9	1750	0,825	1,2	1,02	1,01	1769
Вал 16	1,1	2550	0,9436	0,98	0,964	0,8916	2274
Вал 17	0,8	1400	0,763	1,1	1,055	0,885	1240
Вал 18	1,7	1900	1,26	1,02	1,0077	1,297	2463
Вал 19	1,2	2100	1,086	0,95	0,9927	0,943	1980
Всього						40049	

Отже при подальших розрахунках кількості обладнання, працівників та інших складових дільниці буде використовуватися приведена програма, тобто проектується дільниця, на якій вироблятиметься 19 подібних деталей. При цьому вся технологічна документація розробляється для деталі представника, оскільки інші деталі є подібні.

Кількість верстатів визначається за формулою:

$$C_p = T_{\text{пр}} / (\Phi_d \cdot m) \quad (5.5)$$

де $T_{\text{пр}}$ – сумарна трудомісткість деталей, год;

Φ_d – ефективний річний фонд часу роботи верстата при роботі в одну зміну, год;

m – кількість робочих змін

Відповідно для кожної операції отримаємо:

На операції 005 трудомісткість виконуваних робіт складатиме:

$$T_{\text{пр}} = \frac{3,01 \cdot 40049}{60} = 200,125 \text{ (год)}$$

На операції 010 трудомісткість виконуваних робіт складатиме:

$$T_{\text{пр}} = \frac{1,84 \cdot 40049}{60} = 1228,169 \text{ (год)}$$

Для операції 015 трудомісткість виконуваних робіт складає:

$$T_{\text{пр}} = \frac{1,36 \cdot 40049}{60} = 907,777 \text{ (год)}$$

Для і операції 020 трудомісткість виконуваних робіт складає:

$$T_{\text{пр}} = \frac{1,54 \cdot 40049}{60} = 1027,924 \text{ (год)}$$

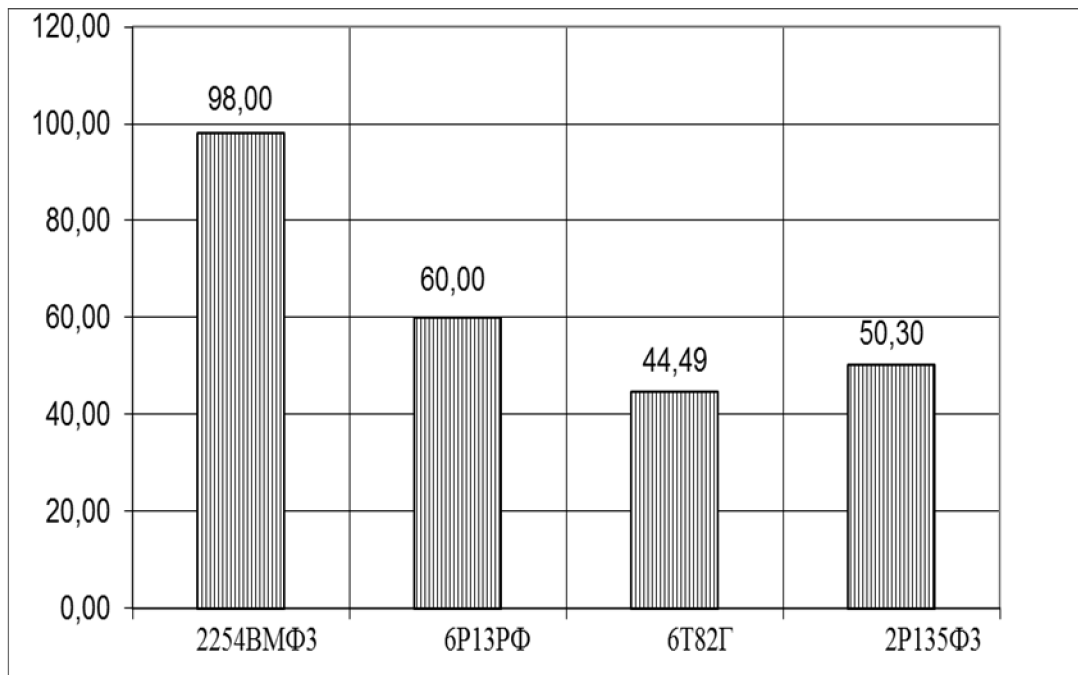


Рисунок 2.10 – Графік завантаження обладнання

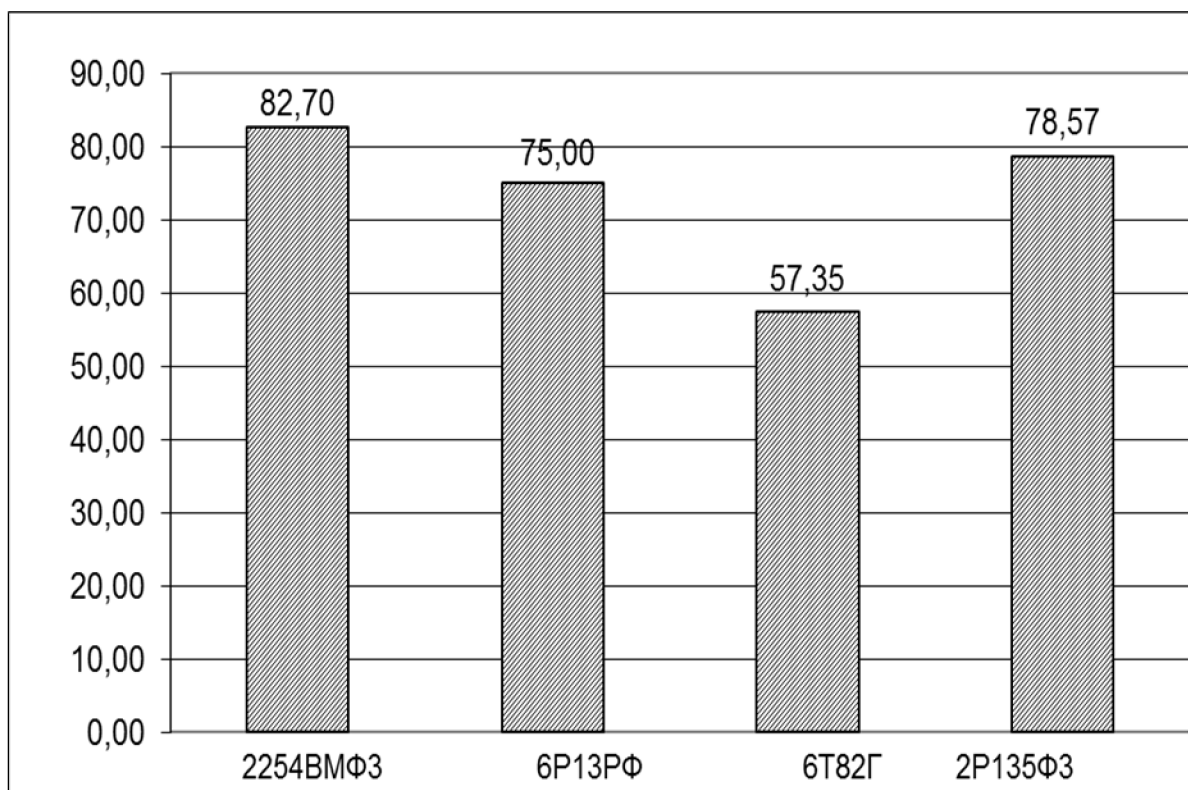


Рисунок 2.11 – Графік використання обладнання за основним часом

Отже кількість верстатів 2254ВМФ3 для багатоцільової операції з ЧПК 005 складає:

$$C_p = \frac{2009,125}{2040} = 0,9849$$

Верстатів 6P13PФ3:

$$C_p = \frac{1228,169}{2040} = 0,602$$

Аналогічно розраховується кількість інших результатів. Та заокруглюється до найближчого цілого числа.

Аналогічно визначаються коефіцієнти завантаження інших верстатів, результати заносимо до таблиці.

Таблиця 2.21 - Розрахунок кількості обладнання

N _{оп}	Назва операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Коефіцієнт завантаження	Середній коефіцієнт завантаження	Коефіцієнт завантаження по основному часові.
005	Багатоцільова	0,98	1	0,98	0,63	0,827
010	Фрезерна з ЧПК	0,60	1	0,60		0,75
015	Горизонтально-фрезерна	0,4449	1	0,4449		0,5735
020	Вертикально-свердлильна	0,503	1	0,503		0,7857

Кількість робітників-верстатників дільниці механічного цеху може бути підрахована в залежності від прийнятої кількості верстатів за формулою:

$$P=C_{\text{пр}} \cdot \Phi_{\text{д}} \cdot K_{\text{з}} / \Phi_{\text{в}} \cdot K_{\text{м}} \quad (2.32)$$

де $C_{\text{пр}}$ – прийнята кількість верстатів, шт;

$\Phi_{\text{в}}$ – ефективний річний фонд роботи верстатника, год;

$K_{\text{м}}$ – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування.

Наприклад для роботи на багатоцільовому верстаті з ЧПК 2254ВМФ4 необхідно:

$$P=1 \cdot 2040 \cdot 0,9848 / 1 \cdot 1840=1,1$$

При розрахунку ефективний фонд роботи верстатника прийнятий рівним 1840 год (тривалість робочої неділі – 41 год, основної відпустки – 18 днів).

Отже для виконання заданого обсягу роботи необхідно 2 робітника.

Аналогічно поводимо розрахунки для інших операцій, а результати записуємо до таблиці 5.3.

Згідно таблиці 5.3 сума всіх основних робочих - 5 чол.

Кількість допоміжних робітників складає 20-25% від кількості верстатників, відповідно:

$$P_{\text{др}}=(0,2 \dots 0,25) \cdot 5=1 \dots 1,25$$

Приймаємо 1 допоміжного робітника.

При дрібносерійному виробництві кількість ІТР складає 24-18% від кількості верстатів, тобто:

$$P_{\text{ІТР}}=(0,18 \dots 0,24) \cdot 5=0,9 \dots 1,2$$

Приймаємо 1 чол ІТР.

Таблиця 2.22 – Кількість робітників –верстатників

Назва операції	Прийнята кількість верстатів, $C_{пр}$	$\Phi_{д}$, год	K_3	K_m	P , чол	$P_{пр}$, чол
Багатоцільова	1	2040	0,98	1	1,1	2
Фрезерна з ЧПК	1		0,60	1	0,67	1
Горизонтально-фрезерна	1		0,444	1	0,49	1
Вертикально-свердлильна	1		0,503	1	0,56	1

Кількість службовців при дрібносерійному виробництві, та при чисельності основних робітників менше 75 чол., складає 2,2% від кількості основних робітників верстатників, отримаємо:

$$P_{скит}=0,022 \cdot 5=0,11$$

Приймаємо 1 чол.

Кількість молодшого обслуговуючого персоналу складає 2% від кількості усіх працівників, тобто:

$$P_{моп}=0,02 \cdot (5+1+1+1)=0,18$$

Приймаємо 1 чол молодшого обслуговуючого персоналу.

Отримані дані занесемо до таблиці 2.23

Таблиця 2.23 – Відомість складу працюючих дільниці

Категорії працюючих	Спосіб визначення	Розрахункова кількість	Прийнята кількість
Основні робітники-верстатники			5
Допоміжні робітники	20...25%	1...1,25	1

ІТР	24...18%	0,9...1,2	1
СКП	2,2%	0,11	1
МОП	2%	0,18	1

Отже на дільниці механічної обробки для виготовлення деталі по запропонованому маршруту механічної обробки, має бути розміщено 4 металорізальних верстати, які обслуговуються 5 основними робітниками. Крім того для забезпечення нормальної роботи дільниці необхідно ще 4 робітника, які можуть використовуватися для обслуговування інших дільниць. Як показали розрахунки використання даного технологічного процесу забезпечить отримання деталі з відповідними кресленню показниками точності.

2.12 Висновки

В бакалаврській дипломній роботі розроблено маршрут механічної обробки для деталі «Важіль поворотний», в якому використовується обладнання із ЧПК. Згідно розрахунку за коефіцієнтом закріплення визначено тип виробництва - дрібносерійний. З врахуванням форми деталі, матеріалу, типу виробництва обрано два можливих способи отримання заготовки – лиття в піщано-глинисті форми та лиття в оболонкові форми, для яких виконано розрахунок і за техніко-економічним порівнянням обрано лиття в піщано-глинисті форми. Проаналізувавши типові технологічні процеси для даного класу деталей, виконавши розрахунок кількості переходів механічної обробки та обравши чистові та чорнові технологічні бази розроблено маршрут механічної обробки. Для визначення технологічних розмірів виконано розмірний аналіз, та розрахунок для циліндричних поверхонь. Крім того визначено режими різання та норми часу для всіх операцій маршруту механічної обробки.

Виконано попереднє проектування дільниці механічної обробки.
Визначено приведену програму та згідно неї кількість верстатів – 4. На
дільниці має працювати 4 основних робітника.

3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання робиться висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Для проведення технологічного аудиту залучено 3-х незалежних експертів які оцінили комерційний потенціал розробки за 12-ю критеріями, наведеними в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні.	Потрібні незначні фінансові ресурси.	Потрібні значні фінансові ресурси.	Потрібні незначні фінансові ресурси.	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промислово-му комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведено в таблицю за зразком таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Сухоруков С.І.	Савуляк В. В.	Сердюк О.В
	Бали, виставлені експертами:		
1	1	2	2
2	1	2	1
3	3	3	3
4	2	3	3
5	4	4	3
6	1	2	2
7	2	3	3
8	2	4	3
9	1	2	2
10	2	3	3
11	3	3	4
12	3	4	4
Сума балів	СБ ₁ =25	СБ ₂ =35	СБ ₃ =33
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{25 + 35 + 33}{3} = 31$		

Дана розробка має рівень комерційного потенціалу вище середнього.

3.2 Прогноз попиту на інноваційне рішення

Деталь «Корпус», для якої розробляється маршрут механічної обробки в магістерській кваліфікаційній роботі, може використовуватися для ремонту вантажних автомобілів. При цьому на дільниці планується виготовляти декілька типорозмірів деталей, для цього підбирається обладнання і пристосування, які можуть переналагоджуватися на інші типорозміри. Це дозволить випускати продукцію, в якій будуть зацікавлені цілий ряд вітчизняних вантажних автомобілів і відповідно величина попиту на ринкові України складатиме близько 60 000.

З метою прогнозування попиту визначимо ємність ринку обладнання. Для цього опрацювавши статистичні дані, приймемо:

- Середня кількість споживачів, які використовують товари аналогічні розроблюваному 60 000 шт ;
- Середній відсоток споживачів, які зацікавлені придбанням інноваційного продукту $P_{\text{п}}=80\%$;
- Середній термін заміни інноваційного продукту - 4 роки;
- Середній відсоток споживачів, що захочуть придбати розроблений товар повторно $C_{\text{п}}=80\%$.

Посилаючись на прогнозовані дані, розраховуємо наступні показники:

Потребу в інноваційному продукті:

$$P_i = P \cdot P_{\text{п}} / 100 [\text{шт}] \quad (3.1)$$
$$P_i = 60000 \cdot 80 / 100 = 48000 \text{ (шт.)}$$

Оптимістичний прогноз попиту на інноваційне рішення:

$$OП = P_i / T [\text{шт}] \quad (3.2)$$
$$OП = 48000 / 4 = 12000 \text{ (шт.)}$$

Песимістичний прогноз попиту на інноваційне рішення:

$$ПП=ОП \cdot C_{II}/100 \text{ [шт]} \quad (3.3)$$

$$ПП=12000 \cdot 0,8=9600 \text{ (шт.)}$$

Реалістичний прогноз попиту на інноваційне рішення:

$$РП=(ОП+ПП)/2 \text{ [шт]} \quad (3.4)$$

$$РП=(12000+9600)/2=10800 \text{ (шт.)}$$

Попит на продукцію буде постійний, оскільки вантажні перевезення широко розповсюджені в нашій країні. Крім того можна налагодити випуск подібних виробів (а обладнання дозволить це зробити) до іноземних вантажних автомобілів, що значно підвищить попит продукцію, що може виготовлятися.

3.3 Вибір каналів збуту та після продажного обслуговування

Канали розподілу (збуту) – це сукупність фірм чи окремих осіб, які виконують посередницькі функції щодо фізичного переміщення товарів і перебирають на себе або сприяють передаванню права власності на товари на шляху їх просування від виробника до споживача. Зважаючи, що інноваційний продукт є товаром кінцевого споживання і його цільовим сегментом є машинобудівні підприємства та невеликі майстерні, оптимальними каналами збуту можуть бути:

- канал нульового рівня, що передбачає реалізацію пристосування, безпосередньо від виробника;

Канал першого рівня може використовуватись у випадках встановлення постійного представництва виробника у регіонах (оптового дилера).

При цьому виробник передбачає надання послуг з гарантійного сервісного обслуговування протягом 6 місяців та навчання персоналу роботі із пристосування, і надання рекомендованих режимів роботи.

3.4 Виявлення основних конкурентів

На сьогоднішній день в Україні використовуються шатуни (а відповідно кришки шатуна), в яких отвір не має поверхнево зміцненого шару. Тобто ця поверхня значно зношується і деталь або замінюють або ставлять втулки, що дає можливість ще деякий час експлуатувати машину. Але це вимагає додаткових затрат часу та коштів.

Таблиця 3.4 – Співвідношення параметрів аналогу і нової розробки

Показник	Одиниці виміру	Аналог, кришка виготовлена без ППД	Деталь, технологічний процес виготовлення якої проектується	Відношення параметрів нового пристосування і параметрів аналога
Наявність зміцненого поверхневого шару найбільш зношуваних поверхонь	-	-	наявне	1
Твердість поверхневого шару	НВ	220	260	1,18

Аналізуючи таблицю 3.4 можна зробити висновок, що нова розробка є кращою ніж аналог, вона дозволить автомобілям працювати довше без поломок і відповідно простоїв.

3.5 Обрання методу ціноутворення

Метод ціноутворення – це конкретний спосіб, прийом, сукупність послідовних дій щодо визначення та обґрунтування ціни конкретного товару.

Розділення методів на групи є досить умовним і залежить від того, який чинник домінує при визначенні ціни і з якого починається її обґрунтування.

При обранні методу ціноутворення на пристрій для суміщеного обкочування слід урахувати конкуренцію на ринку. Конкуренцію даному пристрою можуть скласти лише закордонні аналоги.

Зважаючи на кращі параметри деталі ніж у аналога, пропонується продавати деталь за ціною дещо вищою, але зважаючи на кращі технічні параметри вона залишиться конкурентоспроможною на ринку нашої країни та дозволить подальше завоювання лідерства за показниками обсягів продажу.

3.6 Оцінка рівня якості інноваційного рішення

Таблиця 3.5 – Основні техніко-економічні показники нової розробки

Показник	Абсолютне значення параметра			Коефіцієнт вагомості параметра
	краще	середнє	гірше	
Твердість поверхневого шару отвору	9			20%
Циклічна довговічність	9			30%
Витрати часу на обробку			6	20%
Шорсткість поверхонь контакту		8		30%

Оцінка рівня інноваційного рішення проводиться з метою порівняльного аналізу і визначення найбільш ефективного в технічному

відношенні варіанта інженерного рішення. Визначимо абсолютний та відносний рівні якості розроблюваного пристрою.

Визначимо абсолютний рівень інноваційного рішення за формулою:

$$K_{ap} = \sum_{i=1}^n P_{Hi} \cdot \alpha_i$$

Де P_{Hi} - числове значення i -го параметру інноваційного рішення;

n - кількість параметрів інноваційного рішення, що прийняті для оцінки;

α_i

- коефіцієнт вагомості відповідного параметра.

$$K_{ap} = 9 \cdot 0,2 + 9 \cdot 0,3 + 6 \cdot 0,2 + 8 \cdot 0,3 = 8,1$$

Далі визначаємо рівень якості окремих параметрів інноваційного рішення, порівнюючи його показники з абсолютними показниками якості найліпших вітчизняних та зарубіжних аналогів, основних товарів конкурентів.

Визначимо відносні одиничні показники якості по кожному параметру та занесемо їх у таблицю 4.6, для цього скористаємося формулами:

$$q_i = \frac{P_{Hi}}{P_{Bi}}$$

або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}}$$

P_{Hi}, P_{Bi} - - числові значення i -го параметра відповідно нового і базового виробів.

Таблиця 3.6 – Основні технічні параметри інноваційного рішення та товару -конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий	новий		
Твердість поверхневого шару отвору	220НВ	260НВ	1,18	20%
Циклічна довговічність	6 млн. циклів	7 млн. циклів	1,17	30%
Витрати часу на обробку	5,1 год	5,28год	1,04	20%
Шорсткість поверхонь контакту	1,6 мкм	0,8 км	2,00	30%

$$q_1=260/220=1.18$$

$$q_2=7/6=1.17$$

$$q_3=5,28/5,1=1.04$$

$$q_4=1,6/0,8=2,0$$

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

$$K_{яв} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i$$

$$K_{яв}=1,18 \cdot 0,2+1,17 \cdot 0,3+1,04 \cdot 0,2+2,0 \cdot 0,3=1.395$$

Відносний коефіцієнт показника якості інноваційного рішення більший одиниці, це означає, що інноваційний продукт якісніший базового товару конкурента на 39,5%.

3.7 Оцінка конкурентоспроможності інноваційного рішення

Конкурентоспроможність продукції – це комплексна багатоаспектна характеристика товару, що визначає його переваги на ринку порівняно з аналогічними товарами-конкурентами як за ступенем відповідності конкретній потребі, так і за витратами на їх задоволення.

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками для нашого пристосування є технічні параметри, а також ціна придбання та експлуатаційні витрати при використанні пристрою.

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення з урахуванням вищевказаних груп показників можна визначити за формулою:

$$K = I_{\text{ТП}} / I_{\text{ЕП}}$$

Де $I_{\text{ТП}}$ – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення);

$I_{\text{ЕП}}$ – індекс економічних параметрів.

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I_{\text{ЕП}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{неі}}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{беі}}}$$

$P_{\text{беі}}$ $P_{\text{неі}}$ - економічні параметри відповідно базового та нового товарів.

$$I_{\text{er}}=2400/4000=0,6$$

$$K=1,395/0,6=2,32$$

Оскільки показник конкурентоспроможності більший 1, то наш інноваційний продукт є більш конкурентоспроможним, ніж товар конкурент.

3.8 Прогнозування витрат на виконання роботи

Розрахунок основної заробітної плати розробників.

Основна заробітна плата розробників, яка розраховується за формулою :

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ [грн.],} \quad (3.5)$$

де: М – місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.

T_p – число робочих днів в місяці. Приблизно $T_p = 21 \div 22$,

t – число днів роботи розробника.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків основної заробітної плати.

№	Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
1	Керівник проекту	5000	227,27	16	3636,4
2	Інженер-технолог	4250	193,18	16	3090,9
Всього					6727,3

Для керівника проекту основна заробітна плата складатиме:

$$Z_o = \frac{3200}{22} \cdot 16 = 2327,3(\text{грн.}).$$

Аналогічно розраховуємо заробітну плату інших розробників. При цьому необхідно врахувати, що найбільшу частину роботи виконує інженер-технолог. Результати розрахунків зведено до таблиці 3.3.

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання технологічних операцій по виготовленню одного виробу:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c \text{ [грн.]}, \quad (3.6)$$

де: t_i – норма часу (трудомісткість) на виконання технологічної операції, годин; n – число робіт по видах та розрядах, K_c – коефіцієнт співвідношень, який установлений в даний час Генеральною тарифною угодою між Урядом України і профспілками. $K_c = 1 \div 5$. Приймаємо $K_c = 1,37$ C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує відповідну технологічну операцію, грн./год. C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot T_{зм}} \left[\frac{\text{грн.}}{\text{год}} \right], \quad (3.7)$$

де: M_m – мінімальна місячна оплата праці, грн. $M_m = 4173$ грн. K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду та професії, K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств машинобудування до законодавчо встановленого розміру

мінімальної заробітної плати. $K_c=1,37$ T_p – число робочих днів в місяці.
 Приблизно $T_p = 21 \div 23$, $T_{зм}$ – тривалість зміни, $T_{зм} = 8$ годин.

Таблиця 3.7 - Витрати на основну заробітну плату для виготовлення однієї деталі

Обладнання	Трудомі- сткість годин	Погодина тарифна ставка	Велечина оплати,грн
Токарний верстат з ЧПК 1П420ПФ30	0,211	43,47	12,56
Токарний з ЧПК МК6843Ф01	0,108	43,47	6,42
Всього			18,98

Для всіх деталей складатимуть:

$$Z_p = 10800 \cdot 18,98 = 204984 \text{ (грн.)}$$

Додаткова заробітна плата розраховується, як 10 – 12 % від основної заробітної плати розробників:

$$Z_d = 0,11 \cdot (6727,3 + 204984) = 23288 \text{ (грн.)}$$

Нарахування на заробітну плату склали 22 % від суми основної та допоміжної заробітної плати:

$$(6727,3 + 204984 + 23288) \cdot 0,22 = 51700 \text{ (грн.)}$$

3.9 Амортизація обладнання, які використовуються під час виготовлення пристосування

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування в цілому можуть бути розраховані за формулою:

$$A = \frac{Ц}{T_{н.в.}} \frac{T_{ф.в.}}{12}$$

Де Ц – загальна балансова вартість обладнання, грн;

$T_{фн}$ – строк корисного використання обладнання,

Таблиця 3.4 – Амортизаційні відрахування

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Термін корисного використання, років	Термін використання обладнання місяців	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
Багатоцільовий	700 000	12	9,5	46181
Фрезерний з ЧПК	360 000	12	4,9	12250
Всього			58431	

Витрати на матеріали розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою [20]:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot Ц_i \cdot K_i - \sum_1^n B_i \cdot Ц_в \quad [\text{грн.}], \quad (3.8)$$

де: H_i – витрати матеріалу i -го найменування, 4,09 кг, $Ц_i$ – вартість матеріалу i -го найменування, K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,1$.
 B_i – маса відходів i -го найменування, $Ц_в$ – ціна відходів i -го найменування, 3 грн./кг. n – кількість видів матеріалів.

Таблиця 3.5 - Витрати на матеріал

Найменування матеріалу	Ціна за 1 кг., грн.	Витрачено, кг.	Величина відходів, кг	Ціна відходів грн./кг.	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Сталь 45Л	16	2,1	0,5	3	19,89
Всього					19,89

Для виготовлення даного виробу підприємство використовує один вид матеріалу і відповідно отримаємо:

$$M = 1,66 \cdot 16 \cdot 1,1 - 2,1 \cdot 3 = 19,89 \text{ (грн.)}$$

А для всієї партії:

$$19,89 \cdot 10800 = 214812 \text{ (грн.)}$$

Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_{\Pi} \text{ [грн.]}, \quad (3.9)$$

де: V – вартість 1 кВт-години електроенергії. У січні 2019 року $V = 2,4$ грн./кВт.

P – установлена потужність обладнання, 12 кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання при виконанні технологічних операцій, в результаті чого виготовляється один виріб;

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності. $K_{\Pi} < 1$, приймаємо 0,8.

Таблиця 3.6 – Таблиця витрат на силову електроенергію

Обладнання	Встановлена потужність, кВт	Фактична кількість годин роботи	Сума,грн
Багатоцільовий	12	0,211	3,71
Фрезерний з ЧПК	10	0,108	1,58
Всього			5.29

А для всієї партії:

$$5.29 \cdot 10800 = 57110,05 \text{ (грн.)}$$

Інші витрати можна прийняти як (100...300)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які виконували дану роботу:

$$V_{ін} = (1 \dots 3) (Z_o + Z_p) \quad (3.10)$$

$$V_{ін} = 2 \cdot (6727,3 + 204984) = 423423 \text{ (грн.)}$$

Усі витрати складають:

$$\begin{aligned} B &= 6727,3 + 204984 + 23288 + 51700 + 58431 + 214812 + 57110,05 + 423423 = \\ &= 1040475,35 \text{ (грн)} \end{aligned}$$

3.8 Розрахунок загальних витрат виконання даної роботи всіма виконавцями

Загальна вартість даної роботи визначається за $B_{заг}$ формулою:

$$B_{заг} = \frac{B}{\alpha} \quad (3.11)$$

де α – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях. Для нашого випадку $\alpha = 0,95$.

Тоді

$$V_{\text{заг}}=1040475,35/0,95=1095237,21 \text{ (грн.)}$$

передбачає прогнозування загальних витрат на розробку та впровадження результатів виконаної роботи. Прогнозування загальних витрат здійснюється за формулою:

$$ЗВ=V_{\text{заг}}/\beta \quad (3.12)$$

Де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи.

Для нашого випадку $\beta \approx 0,9$.

Тоді:

$$ЗВ=1095237,21/0,9=1216930,23 \text{ (грн.)}$$

Тобто прогнозовані витрати на розробку технологічного процесу і отримання кришки шатуна з використанням методів поверхневої пластичної деформації складають 1216,93 тис грн.

3.9 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

Комерційний ефект розробленого способу суміщеної обробки пояснюється досягненням кращих характеристик обробленої деталі. Це дозволяє реалізовувати нашу розробку на ринку дорожче, ніж аналогічні або подібні за функціями розробки.

Аналіз місткості ринку даної продукції показує, що в даний час в Україні кількість потенційних користувачів подібних способів для зміцнення

поверхонь деталей складає щороку приблизно 10800 шт. Середня ціна подібних деталей 4000 грн . Реалізуємо наші деталі приблизно на (10...20%) дешевше, тобто за 2400 грн. При цьому повинен збільшуватися і попит на нашу розробку.

Припустимо, що наша розробка буде користуватися підвищеним попитом на ринку протягом 4-х років після впровадження. Після цього високою є ймовірність, що іншими фахівцями будуть розроблені ще більш ефективні способи зміцнення поверхневого шару.

За нашими розрахунками, результати нашої розробки можуть бути впроваджені з 1 березня 2020 року, а її результати будуть виявлятися протягом 2020-го, 2021-го, 2022-го та 2023-го років.

Прогноз зростання попиту на нашу розробку складає по роках:

1-й рік після впровадження (2020р.) – приблизно 3500 шт.;

2-й рік після впровадження (2021 р.) – приблизно 3400 шт.;

3-й рік після впровадження (2022 р.) – приблизно 2100 шт.;

4-й рік після впровадження (2023 р.) – приблизно 1800 шт.

У 2024 р. ми не плануємо отримання прибутків для потенційних інвесторів, оскільки високою є ймовірність, що з'являться нові, більш якісні розробки.

Розрахуємо очікуване збільшення прибутку Π_i , що його можна отримати потенційний інвестор від впровадження результатів нашої розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n \Delta C_0 \cdot N + C_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - g/100) \quad (3.13)$$

де C_0 – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником є збільшення ціни нової розробки, грн.; ми домовилися, що $C_0 = 1600$ грн;

N – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки;

C_0 – основний оціночний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році після впровадження результатів розробки, грн.; $C_0 = 4000$ грн;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. У 2018 році ставка податку на додану вартість встановлена на рівні 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати $\rho = 0,2 \dots 0,3$; візьмемо $\rho = 0,25$;

g – ставка податку на прибуток. У 2019 році 18%.

Тоді, збільшення чистого прибутку для потенційного інвестора Π_1 протягом першого року від реалізації нашої розробки (2020 р.) складе:

$$\Delta\Pi_1 = (3500 \cdot 1600) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18/100) = 1377655 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\Pi_2 = (3400 \cdot 1600) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18/100) = 1338294 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\Pi_3 = (2100 \cdot 1600) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18/100) = 826593,1 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\Pi_4 = (1800 \cdot 1600) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18/100) = 708508,3 \text{ (грн.)}$$

3.10 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Розраховуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{\text{абс}}$. Для цього користуються формулою:

$$E_{\text{абс}} = \text{ПП} - \text{PV}, \quad (3.14)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків від реалізації результатів розробки, грн.;

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t} \quad (3.15)$$

де Π_i – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої роботи, грн.;

τ – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої наукової роботи, роки;

t – період часу (в роках) від моменту отримання прибутків до точки „0”.

Тоді приведена вартість всіх можливих чистих прибутків ПП, що їх може отримати потенційний інвестор від реалізації результатів нашої розробки, складе:

$$ПП = \frac{1377655}{(1+0.1)^2} + \frac{1338294}{(1+0.1)^3} + \frac{826593,1}{(1+0.1)^4} + \frac{708508,3}{(1+0.1)^5} = 4170647 \text{ (тис. грн.)}$$

Абсолютна ефективність нашої розробки (при прогнозованому ринку збуту) складе:

$$E_{\text{абс}} = 4170647 - 1216930 = 2\,953,717 \text{ (тис. грн.)}$$

Оскільки $E_{\text{абс}} > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів нашої розробки може бути доцільним.

Але це ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлене у фінансуванні даного проекту. Він буде зацікавлений це роботи тільки тоді, коли ефективність вкладених інвестицій буде перевищувати певний критичний рівень.

Для цього розрахуємо відносну ефективність E_B вкладених у розробку коштів. Для цього скористаємося формулою:

$$E_B = \sqrt[T_{ж}]{1 + E_{абс} / PV} - 1 \quad (3.16)$$

де $E_{абс}$ – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, $E_{абс} = 2\,953,717$ тис.грн.;

PV – теперішня вартість інвестицій $PV = 1216,93$ тис. грн.;

$T_{ж}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

Для нашого випадку:

$$E_B = \sqrt[3]{1 + 2923,717 / 1216,93} - 1 = 0,36 = 36\%$$

У загальному вигляді мінімальна дохідність або мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування τ мін визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (3.17)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2018 році в Україні $d = (0,20 \dots 0,27)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05 \dots 0,2)$, але може бути і значно більше. Для нашого випадку отримаємо:

$$T_{мін} = 0,25 + 0,10 = 0,35 \text{ або } T_{мін} = 35\%$$

Оскільки величина $E_B = 1,14\% > T_{мін} = 35\%$, то інвестор у принципі може бути зацікавлений у фінансуванні нашої розробки.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій розраховується за формулою:

$$T_{ок} = 1/E_B$$

$$T_{ок}=1/0,36=2,21$$

Тобто у інвестора, на нашу думку, може виникнути зацікавленість вкладати гроші в дану розробку, оскільки він може отримати більші доходи, ніж якщо просто покладе свої гроші на депозит у комерційному банку

3.11 Висновок

При оцінці економічної ефективності наукового дослідження було визначено комерційний потенціал дослідження та розраховано кошторис капітальних витрат на автоматизацію ділянки механічної обробки, а також оцінено економічну ефективність інноваційного рішення.

В розрахунку економічної ефективності було виконано прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів наукової-дослідної роботи, спрогнозовано комерційний ефект від реалізації результатів розробки та ефективність вкладених інвестицій і періоду їх окупності (2,21 роки). За результатами всіх розрахунків було виявлено доцільність проведення даної наукової-дослідної роботи оскільки вона є економічно виправданою.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

4.1 Аналіз умов праці

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори у відповідності з діючою класифікацією (ГОСТ 12.0.003-74) поділяються на такі групи: фізичні; хімічні;- психологічні; біологічні.

На дільниці, де виготовляється деталь типу „Корпус” виникають наступні шкідливі та небезпечні фактори:

- фізичні: рухомі частини виробничого обладнання; вироби, що переміщуються; підвищений рівень шуму; гострі кромки, заусенці; підвищена напруга в електричній мережі, замикання якої може пройти через тіло людини; недостатня освітленість робочої зони; недостатня природного освітлення;

- хімічні: загально токсичні (CO_2 — джерело - міжцеховий автотранспорт; вуглеводні містяться у парах ЗОР); роздратовуючи (пари лугів з ЗОР);

- психологічні: фізичні перевантаження (при перенесенні деталей до робочого місця); нервово- психічні перевантаження (викликаються монотонністю праці);

- біологічні: хвороботворні мікроорганізми та бактерії, що з'являються при роботі з ЗОР.

4.2 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи

4.2.1 Електробезпека

Дільниця по небезпеці ураження електричним струмом відноситься до особливо небезпечних приміщень, оскільки на цій дільниці існують струмопровідні поли і можливість одночасного дотику людини до

механізмів, що мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів з іншого. Безпека при експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок забезпечується засобами захисту.

В якості захисного засобу на ділянці використовується занулення для трьохфазної чотирьох провідної мережі із заземленою нейтраллю.

Занулення в електроустановках не знаходяться під напругою до 1000 В — спеціальне заземлення частин, які нормально не знаходяться під напругою, з глухо-заземленою нейтраллю генератора або трансформатора в мережах трьохфазного струму.

Занулення перетворює замикання на корпус в однофазне коротке замикання між фазним і нульовим проводами з метою утворення більшого струму, здатного забезпечити спрацювання захисту і відключення установки від мережі.

Другим основним засобом електробезпеки є захисне заземлення всіх струмопровідних корпусів обладнання на ділянці.

Захисна дія заземлення ґрунтується на зменшенні напруги дотику між корпусом обладнання і землею. При замиканні будь-якої фази на струмопровідний корпус через провідник заземлення фаза замикається на землю. Це є однофазне коротке замикання, від струму якого спрацює захисне обладнання, яке відключає дану установку від електромережі.

На ділянці виконане природне заземлення - всі струмопровідні корпуси установок та механізмів заземлені на підземні трубопроводи.

Крім того, на ділянці використовують різні електрозахистні засоби: діелектричні рукавиці, гумові килими, ізолюючі підставки, показники напруги. В різних місцях встановлені різні попереджувальні плакати: дозволяючи, забороняючи, остерігаючи та нагадуючи.

4.2.2 Техніка безпеки при виконанні технологічних операцій на ділянці

Виробниче обладнання повинно відповідати ГОСТ 12.2.003-74 „ССБТ.

Оборудование произведено. Общие требования безопасности”. Для забезпечення безпеки повинні встановлюватися устрій, що виключають можливість проникнення робітника в небезпечну зону; захисні екрани для верстатів; переносні огорожі; блокуючі пристрої; пристрої сигналізації у верстатах; застосовуватись особливі конструкції кнопок керування, що роблять неможливим попадання робітника у небезпечну зону.

Робітники дільниці обробку різанням повинні проводити згідно ГОСТ 12.3.025-80, мати засоби індивідуального захисту: спецодяг, взуття, які повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.4.011-75.

4.3 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії [24]

4.3.1 Вимоги до технологічних процесів, обладнання та приміщення

Виробниче приміщення повинно відповідати вимогам СНиП П-2-80, СНиП П-89-80.

Згідно ГОСТ 12.2.003-74 „ССБТ. Оборудование производственно. Общие требования безопасности”, обладнання повинно бути безпечним при монтажу, експлуатації і ремонту як окремо, так і в складі технологічних систем, при зберіганні, повинно бути пожежно-вибухо-безпечним і не забруднювати навколишнє середовище вище норм.

Об’єм промислового приміщення на одного працюючого не повинен бути менше 15 м^3 , а площа - $4,5\text{ м}^2$.

4.3.2 Мікроклімат в виробничому приміщенні

Мікроклімат у виробничих умовах визначається наступними параметрами: температурою повітря $t, 0\text{C}$; відносною вологістю $\phi, \%$; швидкістю руху повітря на робочому місці $V, \text{ м/с}$; атмосферним тиском $p, \text{ мм.рт.ст.}$.

Згідно з вимогами ССТБ метеорологічні умови визначаються для робочої зони на висоті 2 м над рівнем підлоги. Людина почуває себе гарно, якщо температура навколишнього повітря $t=18...22$ °С; відносна вологість $\phi=40...60\%$, швидкість руху повітря на робочому місці $V=0,1...0,2$ м/с.

ГОСТ 12.1.005-88 „Санитарные нормы микроклимата производственных помещений” встановлює оптимальні та доступні параметри мікроклімату для різних категорій робіт, пори року, типів робочих місць. Для категорії робіт II б - роботи середньої важкості, що виконуються стоячи, пов'язані з ходінням та перенесенням невеликих вантажів до 10 кг, які вимагають помірних фізичних напруг, параметри мікроклімату наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура $t, ^\circ\text{C}$					Відносна вологість, %		Швид. повітря, м/с	
		Оптимальна	На робочих місцях				Оптимальна	Доп. на роб. місці	Оптимальна	Доп. на роб. місці
			Верхня межа		Нижня межа					
			пост	непост	пост	непост				
Холодний	II б	17...19	21	23	15	13	40...60	75	0,2	$\geq 0,4$
Теплий		20...22	27	29	16	15	40...60	70	0,3	0,2...0,5

Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь технологічного обладнання не повинно перевищувати 100 Вт/м^2 при опроміненні не більше 25% поверхонь тіла.

Оптимальні параметри мікроклімату підтримувати економічно недоцільно, тому підтримують допустимі параметри.

У механічному цеху, де відсутні шкідливі виділення і необхідно мала кратність повітрообміну, застосовують витяжну загально обмінну вентиляцію.

4.3.3 Освітлення

Виробниче освітлення характеризується кількісними та якісними показниками. Кількісні показники: світловий потік, сила світла, освітленість, яскравість. Якісні: фон, контраст об'єкта з фоном, видимість і т.д.

Згідно СНИП П-4-79 зорова робота на ділянці відноситься до I групи: розрізнення об'єктів зорової роботи здійснюється при фіксованому направленні лінії зору робітників на робочу поверхню (виробничі приміщення промислових підприємств).

Природне освітлення на ділянці є верхнє з боковим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості - це відношення освітленості зовні. Нестачу природої освітленості компенсує штучне. Воно складається з загального освітлення виробничої площі та місцевого освітлення. Місцеве освітлення реалізується лампами розжарювання; загальне - газорозрядними лампами.

Згідно СНИП П-4-79 для розряду зорових робіт вищої точності - II б, освітленість має складати: комбінована - 4000 лк; загальна — 1250 лк; контраст об'єкта розпізнавання з фоном - середній; фон - темний.

Нормальне значення для КПО:

$$e_H^{IV} = e_H^{III} \cdot m \cdot c \quad (4.1)$$

де, e_H^{III} - значення КПО для будівель, що розташовані у II поясі світлового клімату;

m - коефіцієнт світлового клімату, що враховує особливість світлового клімату іншої місцевості;

c - коефіцієнт сонячності клімату.

Для бокового природного освітлення $e_H^{III} = 10\%$; для суміщеного освітлення $e_H^{III} = 6\%$; $m^{IV} = 0,9$; $c = 0,75$, для зовнішніх стін азимут 270° .

Отже мінімальні значення КПО:

- для природного освітлення : $e_H^{IV} = 3 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 2\%$;

- для суміщеного освітлення: $e_H^{IV} = 6 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 1,215\%$;

Розрахунок достатності природного освітлення.

В приміщенні знаходять два вікна висотою 2,4м та шириною 3 м, площа яких становить 14,4м².

Розраховуємо КПО за формулою:

$$e_h^{\delta} = \varepsilon_{\delta} \cdot q \cdot \Gamma_1 \cdot \frac{\tau_0}{K_3}, \quad (4.2)$$

де ε_{δ} - геометричний КПО в розрахунковій точці: $\varepsilon_{\delta} = 0,01(\Pi_1 + \Pi_2)$,

де Π_1, Π_2 - кількість променів що падають в розрахункову точку відповідно на поперечному перерізі та на плані приміщення;

$q = 0,77$ - коефіцієнт, що враховує нерівномірну яскравість хмарного неба;

$\Gamma_1 = 6,8$ - коефіцієнт, що враховує підвищення КПО;

τ_0 - загальний коефіцієнт світло пропускання:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (4.3)$$

де, $\tau_1 = 0,8$ - коефіцієнт пропускання матеріалу;

$\tau_2 = 0,7$ - коефіцієнт, що враховує втрати світла в сплетіннях світлопроводу;

$\tau_3 = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує втрати світла в несучих конструкціях;

$\tau_4 = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує втрати світла в сонцезахисних пристроях;

$\tau_5 = 0,9$ - коефіцієнт, що враховує втрати світла в захисній сітці;

K_3 - коефіцієнт запасу;

$$\tau_0 = 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,5$$

Підраховуємо кількість променів n_1 та n_2 по нормативах відповідно $n_1=11$; $n_2=44$.

Так, як

$$\varepsilon_{\sigma} = 0,01 \cdot (11 + 44) = 0,05, \text{ то } e_p^{\sigma} = 0,55 \cdot 0,77 \cdot 6,8 \cdot \frac{0,5}{1,3} = 1,1\%$$

Відхилення розрахункового значення від нормального становить 8,2%, що допускається.

Отже, в приміщення достатньо надходить природного світла.

4.3.4 Шум та вібрації

Шум має великий вплив на працездатність людини. Допустимі рівні шуму нормуються у СніП 3223-85 „Санитарные нормы допустимых уровней шума на рабочих местах”.

Джерелами шуму на розглядаємій ділянці є працююче обладнання, шум з сусідніх ділянок та шум автотранспорту.

Таблиця 4.2 – Допустимі рівні звукового тиску

Рівні звукового тиску, дБ, в октавних смугах з середньо геометричними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	82	82	78	75	73	71	69	80

Для постійних робочих місць у виробничих приміщеннях і території підприємства допустимі рівні звукового тиску наведені у таблиці 4.2.

Вібрація виникає при зворотно-поступальних рухах системи, обертання нерівноважених мас, ударів деталей. По дії на людину вібрація поділяється на загальну та локальну. Систематична дія вібрації призводить до різноманітних порушень здоров'я людини.

На дільниці механічної обробки на робітників діє локальна та загальна вібрація, джерелом якої є працююче обладнання. Згідно ГОСТ 12.1012-90 ССБТ. Вибрація. Общие требования безопасности” на постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях допустимі такі рівні вібрації (табл. 7.3) для категорій вібрацій 3 тип „а” - технологічна вібрація, що діє на операторів стаціонарних машин та обладнання, чи передається на робочі місця, що не мають джерел вібрації.

Таблиця 4.3 – Допустимі рівні вібрацій

Вид вібрації	Категорії вібрацій по СН	Напрявлення дії	Нормативне коригування по частоті і еквівалентне корегування значення			
			Вібро-прискорення	Рівень віброприскорення	Вібро-швидкість	Рівень вібро-швидкості
			м с ⁻¹	дБ	м с ⁻¹ 10 ⁻²	дБ
Загальна	3 тип «а»	z0, y0, x0	0,1	100	0,2	92

4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях надзвичайних ситуацій

Електронна апаратура верстатів, що знаходиться в зоні дії іонізуючих випромінювань, може істотно змінювати свої параметри і виходити з ладу.

Ці пошкодження відбуваються в результаті зміни фізичних і хімічних властивостей радіотехнічних (напівпровідникових, ізоляційних, металевих і ін.) матеріалів, параметрів приладів і елементів електронної техніки, виробів електротехніки і радіоелектронних схемних пристроїв.

Здатність виробів виконувати свої функції і зберігати характеристики і параметри в межах встановлених норм під час і після дії іонізуючих випромінювань називають радіаційною стійкістю.

Ступінь радіаційних пошкоджень в опромінюваній системі залежить як від кількості енергії, передаваної при опромінюванні, так і від швидкості передачі цієї енергії. Кількість поглиненої енергії і швидкість передачі її у свою чергу залежать від виду і параметрів випромінювання і ядерно-фізичних характеристик речовин, з яких виготовлений опромінюваний об'єкт.

Зміна властивостей речовин, що виникають в результаті взаємодії з іонізуючими випромінювань, ґрунтується на утворення різних дефектів в матеріалі. Радіаційні зміни в матеріалах бувають наступних типів: вакансії (вакантні вузли), атоми домішок (домішкові атоми), зіткнення при заміщеннях, термічні (теплові) піки, піки зсуву, іонізаційні ефекти.

Для зниження інтенсивності впливу цих випромінювань на різні системи можна вжити інженерно-технічні захисні заходи, що будуються на використанні явища екранування електромагнітних полів безпосередньо в місцях розташування обладнання або на заходах щодо обмеження емісійних параметрів джерела поля. Цей вид випромінювання має високу проникну здатність. Для захисту обладнання, що розташоване в відкритих приміщеннях здійснюється екранування оглядових вікон, вікон приміщень, перегородок застосовується металізованим склом, що володіє екрануючими властивостями. Така властивість скла додає тонка прозора плівка з оксидів металів, частіше за все олово, або металів - мідь, нікель, срібло і їх поєднання. Плівка володіє достатньою оптичною прозорістю і хімічною стійкістю. Будучи нанесеній на одну сторону поверхні скла вона ослабляє інтенсивність випромінювання в діапазоні 0,8 - 150 см на 30 Дб (у 1000 разів). При нанесенні плівки на обидві поверхні скла ослаблення досягає 40 дб (у 10000 разів). Для захисту обладнання від дії електромагнітних випромінювань в будівельних конструкціях, як захисні екрани можуть застосовуватися металева сітка, металевий лист або будь-яке інше провідне

покриття, у тому числі і спеціально розроблені будівельні матеріали. У ряді випадків достатньо використання заземленої металевої сітки, що поміщається під облицювальний або штукатурний шар. Як екрани можуть застосовуватися також різні плівкові і тканинні ізоляції з металізованим покриттям. Останніми роками як екрануючі матеріали широко використовуються металізовані тканини на основі синтетичних волокон. Їх отримують методом хімічної металізації (з розчинів) тканин різної структури і щільності. Існуючі методи отримання дозволяє регулювати кількість металу, що наноситься, в діапазоні від сотих доль до одиниць мкм і змінювати поверхневий питомий опір тканин від десятків до доль Ом.

4.4.1 Оцінка стійкості роботи обладнання дільниці механічної обробки в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій стійкості роботи обладнання дільниці механічної обробки приймають такі максимальні значення рівня радіації, або дози опромінення, при яких матиме місце зміна параметрів деяких елементів, але не буде порушено його роботу в цілому.

- Проаналізуємо елементну базу електронної частини обладнання дільниці механічної обробки. До її складу входять напівпровідникові елементи, випрямлячі, інтегральні схеми, конденсатори, резистори, транзистори, магнітні матеріали, діелектричні матеріали.

- За довідниковими таблицями для кожного з елементів визначимо $D_{гр}$, які заносимо до таблиці 4.4.

- За мінімальним значенням $D_{гр}$ визначимо границю стійкості роботи обладнання дільниці механічної обробки в цілому $-10^4 (P)$.

- З розрахунку роботи обладнання дільниці механічної обробки в заданих умовах протягом 5 років визначимо можливу дозу опромінення:

$$D_m = \left(2 \cdot 6,4 \cdot \left(\sqrt{5 \cdot 8760} - \sqrt{1} \right) \right) / 5 = 535,8(P),$$

де, $p_{1\max} = 6,4$ Р/год – максимальне значення рівня радіації через 1 год. після аварії на радіаційно-небезпечному об'єкті;

$t_{\text{п}}=1$, $t_{\text{к}} = 5$ років = 43800 год – відповідно, час початку і кінця опромінення обладнання дільниці механічної обробки, що визначається його експлуатаційним терміном;

$K_{\text{пос}} = 5$ – коефіцієнт послаблення радіації.

Таблиця 4.4 – Границі стійкості роботи елементів обладнання дільниці механічної обробки в умовах радіаційного забруднення

Елементна база	$D_{\text{epi}} (P)$	$D_{\text{ep.min}} (P)$
Випрямлячі	10^6	10^4
Напівпровідники	$10^5 \dots 10^6$	
Інтегральні схеми	10^5	
Магнітні матеріали	10^8	
Резистори	10^6	
Конденсатори	10^6	
Діелектричні матеріали	10^7	

Гранично допустиме значення потужності дози

$$P_{\text{ep.min}} = \frac{D_{\text{ep}} \cdot K_{\text{пос}}}{2(\sqrt{t_{\text{k}}} - \sqrt{t_{\text{n}}})} = \frac{10^4 \cdot 5}{2(\sqrt{43801} - \sqrt{1})} = 120 \text{ Р/год}$$

Так як $D_{\text{м}} < D_{\text{гр.мін}}$, то робота обладнання дільниці механічної обробки серверної сторони буде стійкою в умовах дії іонізуючих випромінювань і обладнання буде працювати у потрібному режимі.

7.4.2 Оцінка стійкості роботи дільниці механічної обробки в умовах дії електромагнітного імпульсу.

а критерій стійкості роботи обладнання дільниці механічної обробки і цих умовах береться коефіцієнт безпеки:

$$K_6 = 20 \lg(U_D/U_{B(\Gamma)}) \geq 40 \text{ дБ},$$

де, U_D – допустиме коливання напруги живлення; $U_{B(\Gamma)}$ – напруги наведення в вертикальних(горизонтальних) струмоведучих частинах.

- Визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_\Gamma = 10^{-3} \cdot E_B = 10^{-3} \cdot 7 \text{кВ} = 7 \text{В}.$$

- Максимальні довжини струмопровідних частин обладнання дільниці механічної обробки:

$$l_{\Gamma I} = 0,25 \text{ (м)}; l_{B I} = 0,1 \text{ (м)}.$$

- Напруги наведені в вертикальних та горизонтальних струмопровідних частинах блока живлення:

$$U_{B I} = E_\Gamma \cdot l_{B I} = 7 \cdot 0,1 = 0,7 \text{ (В)} ;$$

$$U_{\Gamma I} = E_B \cdot l_{\Gamma I} = 7000 \cdot 0,25 = 1750 \text{ (В)}.$$

- Допустиме коливання напруги живлення визначимо за формулою:

$$U_D = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ В}$$

де, N – допустиме відхилення у %.

Визначаємо коефіцієнти безпеки:

$$K_{\sigma}^e = 20 \lg \frac{12,6}{0,7} = 25,1 \text{ дБ},$$

$$K_{\sigma}^e = 20 \lg \frac{12,6}{1750} = -42,85 \text{ дБ}.$$

Умова стійкості роботи обладнання дільниці механічної обробки, а саме – $K_{\text{БВІ}} < 40 \text{ дБ}$ і $K_{\text{БГТ}} < 40 \text{ дБ}$ виконується.

4.4.3 Розробка заходів захисту дільниці механічної обробки в умовах впливу загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Проведений розрахунок дозволяє зробити висновок, що електронна частина обладнання дільниці механічної обробки є нестійкою в роботі в умовах дії ЕМІ і необхідно здійснити екранування її струмопровідних частин.

Розрахунок необхідної товщини захисного екрану з заліза:

$$A = 5,2 \cdot t \sqrt{f}, \text{ [дБ]} \quad (7.4)$$

де: t - товщина стінки екрану, см; $f = 15 \text{ кГц}$.

$$A_{\min} = 40 - K_{\sigma, \min} = 40 - (-7,7) = 47,7 \text{ (дБ)}$$

Тоді:

$$t_{\min} = A_{\min} / (\sqrt{f} \cdot 5,2) = 47,7 / \sqrt{15000} \cdot 5,2 = 0,075 \text{ (см)}$$

Висновок

Отже для забезпечення стійкої роботи електронної частини обладнання ділянки механічної обробки в заданих умовах необхідно здійснити екранування їх струмопровідних частин сталевим екраном товщиною 0,075 мм.

Для захисту обладнання у випадку виникнення інших надзвичайних ситуацій можна вжити такі заходи:

- використання обладнання в потенційних безпечних зонах;
- розміщення обладнання в зміцнених та захищених приміщеннях;
- за можливістю використання бездротової передачі даних та автономного енергозабезпечення;
- фіксація чи розміщення обладнання в місцях з максимальним обмеженням свободи руху та доступу повітря чи вологи;
- забезпечення можливості швидкого демонтажу та переміщення в безпечні місця;
- при необхідності герметизація приміщень або місць розташування обладнання;
- використання меблів та стін приміщень з негорючих та екрануючих матеріалів та захист іншими покриттями.

Щодо конструктивних рішень, то для захисту обладнання можна використати такі:

- використання в конструкції елементів, що є нечутливими до дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу, стрибків напруги спричинених іншими подіями;
- виготовлення корпусних деталей з екрануючих матеріалів;
- використання герметичних корпусів та блоків;
- створення блочних конструкцій з взаємозамінними блоками;
- використання дублюючих блоків або паралельних блоків;
- використання елементів автоматичного відключення блоків чи пристрою в цілому у випадку надзвичайних подій.

За результатами проведеного розрахунку можна зробити такі висновки:

- Так як $D_M < D_{гр.мін}$, то робота електронної частини обладнання дільниці механічної обробки буде стійкою в умовах дії іонізуючих випромінювань і обладнання буде працювати у потрібному режимі.

- Умова стійкості роботи електронної частини обладнання дільниці механічної обробки, а саме – $K_{БВГ} < 40\text{дБ}$ і $K_{БГГ} < 40\text{дБ}$ в заданих умовах не виконується, тому для забезпечення стійкої її роботи необхідно здійснити екранування струмопровідних частин сталевим екраном товщиною 0,075 і більше мм.

- Для захисту електронної частини обладнання дільниці механічної обробки від впливу інших небезпечних чинників можна використати заходи запропоновані в останньому підрозділі.

ВИСНОВКИ

В запропонованій магістерській кваліфікаційній роботі в повній мірі використані всі сучасні тенденції розвитку машинобудування та досягнення комп'ютерних технологій. Враховуючи серійність виробництва та сучасні тенденції, запропонований технологічний процес орієнтований на використання гнучкого виробництва на базі верстатів з ЧПК.

Отже, в результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи розроблено модернізований технологічний процес механічної обробки деталі «Корпус А12.54», який дозволяє знизити собівартість та трудомісткість механічної обробки, та підвищити продуктивність праці. Крім цього, розраховані технологічні параметри, що потрібні для виготовлення даної деталі. Поставлені та послідовно розв'язані такі задачі: за кресленням деталі, її масою та програмою випуску визначено, що тип виробництва серійний; серед існуючих способів виготовлення заготовки деталі «Корпус А12.54» вибраний спосіб лиття, який економічно доцільніший; на основі аналізу існуючих типових процесів механічної обробки деталей подібних до заданої деталі розроблено технологічний процес механічної обробки. Виконаний розмірний аналіз технологічного процесу механічної обробки та визначені режими різання на його переходах.

Для фінішної обробки використано деформуюче розкочування. Для вибору оптимальних показників точності досліджено вплив технологічних параметрів на шорсткість отримуваної поверхні. Це дозволило обрати оптимальні режими обробки і отримати якісну поверхню

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. О.В.Сердюк Дослідження процесу розкочування / Сердюк О.В., Токар О.О., Токар О.О. // XLVII науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області(березень2018р.). Режим доступу до журн.:<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2018/paper/view/4510/3607>
2. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням: Навчальний посібник для студентів спеціальностей 7.090202 „Технологія машинобудування”, 7.090203 „металорізальні верстати та системи”/ І.С. Афтаназів, А.П. Гавриш, П.О. Китичок і ін. – Житомир:ЖІТІ, 2001 – 516 с.
3. Браславский В. М. Технологія обкатування великих деталей роликками. М., «Машинобудування», 1975. 159 с. з іл.
4. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием, - М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
5. Алиев И.С., Сивак Р.И. Оценка пластичности при поверхностной пластической деформации// Известия ТулГУ. Сер «Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением». – Тула: Тул ГУ. – 2004. – С. 150-156
6. Сухоруков С. И. Влияние параметров разбиения конечно-элементной модели на точность результатов моделирования процесса поперечно-клиновой прокатки / С. И. Сухорков, И. О. Сивак, Е. И. Коцюбивская // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2012. - №3 (32). – С. 35 – 39. ISSN 2076 – 2151.
7. Смелянский Вадим Михайлович. Механіка упрочнення деталей поверхневим пластическим деформированием: монографія / В.М. Смелянский. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с. – ISBN 5-217-03065-8.

8. Сердюк О. В. Моделирование процесса деформирования поверхностного слоя при обкатке цилиндрическим роликом // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 3 (32).

9. . Огородніков В. А. Напружений стан на кінцевій стадії видавлювання різевих канавок на внутрішній поверхні / В.А. Огородніков, В. Г. Нагайчук, М. В. Любін // Вісник вінницького політехнічного інституту, 1996. - №4. – С. 53-55.

10. Руденко П.А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении / П.А. Руденко, Ю.А. Харламов, В.М. Плескач,- Киев «Выща школа». 1999.–247 с.

11. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в машинобудуванні. Методика і особливості виконання курсової роботи: навчальний посібник / В.В.Кавецький, В.О.Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2013.-100 с.

12. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «САПР технологічної підготовки машинобудівного виробництва» / Укладачі: О. В. Петров, Л. Г. Козлов, Д. О. Лозінський. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 60с.

13. Дусанюк Ж.П. Посібник до практичних занять з дисципліни " Механоскладальні дільниць та цехи в машинобудуванні"/ Ж.П. Дусанюк, С.В. Дусанюк, С.В Репінський, О.В. Сердюк – Вінниця: ВНТУ, 2011 – 142 с.

14. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку : ГОСТ 26645-85. — [Чинний від 1987-07-01]. — М. : Изд-во стандартов, 1987. — 53 с.

15. Дусанюк Ж. П. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки : навчальний посібник / [Дусанюк Ж. П., Шиліна О. П., Репінський С. В. та ін.]. — Вінниця : ВНТУ, 2009. — 199 с.

16. Руденко П.А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении / П.А. Руденко, Ю.А. Харламов, В.М. Плескач,- Киев «Выща школа». 1999.–247 с.

17. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении / [Бабук В. В., Шкред В. А., Кривко Г. П., Медведев А. И.] ; Под ред. В. В. Бабука. Минск : Вышэйшая школа, 1987.— 255 с.
18. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування / Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П, Пурдик В. П. — Вінниця, 2012. — 122 с.
19. Косилова А. Г. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Изд. 3-е переработ. Том 2. [Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова]. М., «Машиностроение», 1985.— 496с.
20. “Общестроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым управлением”, часть 2, Москва 1990.
21. “Режимы резания металлов”, справочник, под. ред. Ю.В.Барановского, Москва 1972.
22. “Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Среднесерийное и крупносерийное производство”, Москва 1984.
23. “Общестроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым управлением”, часть 1, Москва 1990.
24. Руденко П. А. Проектирование технологических процессов в машиностроении / П. А. Руденко — К. : Вища школа, 1985. — 255 с.
25. Антонюк В.Е. Конструктору станочных приспособлений: Справ. Пособие— Мн: Беларусь, 1991
26. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков: Справочник. – М.: Машиностроения, 1971.

27. Вардашкин Б.Н. Станочные приспособления: Справочник в 2-х томах. Т1/ Б.Н. Вардашкин, А.А.Шатилов. М.: Машиностроение, 1984. – 592с.
28. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений. М.: Машиностроение, 1983. – 276с.
29. Косилова А. Г. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Изд. 3-е переработ. Том 1. [Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова]. М., «Машиностроение», 1972.— 694с.
30. Козловський В. О. Методичні вказівки до виконання студентами - магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. / В.О.Козловський - Вінниця: ВНТУ, 2012.- 22 с.
31. Закон України «Про оплату праці» від 24.03.1995, № 108/95-ВР. [сайт]. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/108/95-Вр>. Назва з екрану.
32. Методичні вказівки до оформлення курсових проектів (робіт) у Вінницькому національному технічному університеті /Уклад. Г. Л. Лисенко, А. Г. Буда, Р. Р. Обертюх, - Вінниця: ВНТУ, 2006. - 60 с.
33. Терещенко О. П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу “Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях” в дипломних проектах і магістерських роботах студентів машинобудівельних спеціальностей. / О.П. Терещенко, О.В. Кобилянський – Вінниця: ВНТУ, 2014.- 45 с.

Додатки

Додаток А

Технічне завдання

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
зав. кафедри ТАМ

д.т.н., проф. Л.Г.Козлов

(підпис)

« ____ » _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

Удосконалення технології отримання заготовки і виготовлення деталі
типу «Корпус А12.54» з використанням CALS-технології
08-26.МКР.024.00.000 ТЗ

Керівник роботи: к.т.н., проф. каф. ТАМ
Буренніков Ю.А. _____

« ____ » _____ 20__ р.

Виконавець: студент 2 курсу, групи 2ПМ-18м
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

Токар Б.О. _____

« ____ » _____ 20__ р.

Вінниця ВНТУ 2019

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи

а) потреба в зниженні собівартості виконання операцій механічної обробки заготовки деталі «Корпус А12.54» за рахунок використання сучасного варіанту виготовлення заготовки та металорізального обладнання, інструменту, оснащення, та досягнення меншої шорсткості для поверхонь, що є парами тертя;

б) наказ про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

а) модернізація технологічного процесу механічної обробки для зниження технологічної собівартості завдяки застосуванню сучасних технологій і нових методів обробки заготовок;

б) розробка призначена для застосування на машинобудівних підприємствах України.

3. Вихідні дані для виконання МКР

Робоче креслення деталі «Корпус А12.54».

Необхідність розгляду альтернативних варіантів способу поверхневого зміцнення поверхонь та вибору найбільш оптимального.

4. Вимоги до виконання МКР

МКР повинно використовувати математичні моделі, схеми та рішення, адекватність яких підтверджена попередніми дослідженнями, обґрунтованими висновками, експериментальними даними.

5. Етапи МКР та очікувані результати

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Основні теоретичні та практичні дослідження проведені попередниками			Формування задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
2	Методика теоретичних (експериментальних) досліджень об'єкту вивчення			Об'єкт дослідження, розділ 2
3	Математичне моделювання та аналіз результатів дослідження			розділ 3, публікація результатів
4	Підготовка економічної частини			розділ 4, апробація
5	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях			розділ 5
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації			пояснювальна записка

6. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відзив наукового керівника, відзив рецензента, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

7. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів науково-дослідницької частини МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Представлення МКР на захист відбувається після проходження попереднього захисту на засіданні кафедральної комісії та її позитивного висновку. Готова робота, з усіма необхідними компонентами і підписами подається на кафедри за два дні до захисту. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

8. Вимоги до оформлення МКР

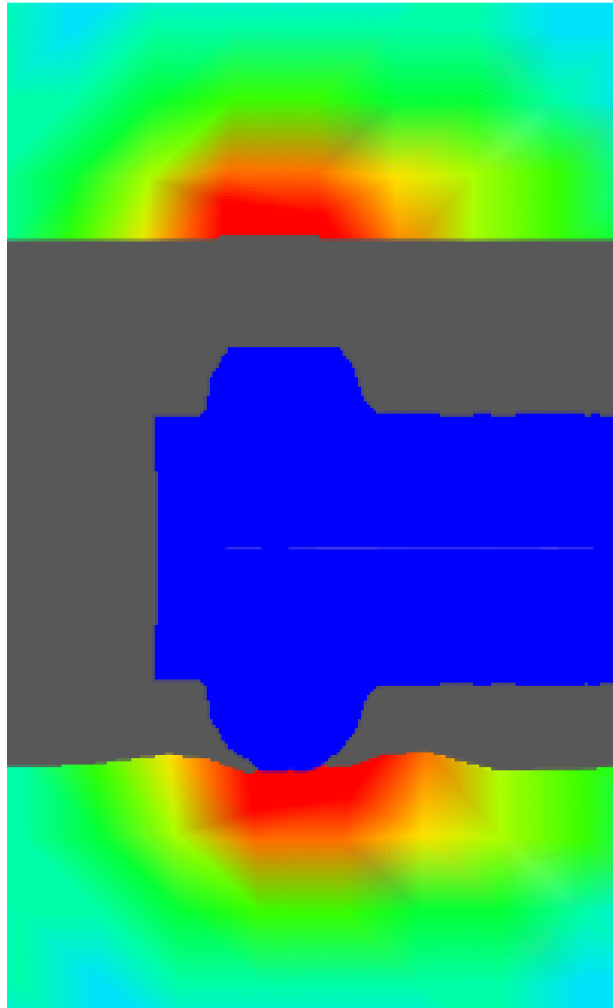
Вимоги викладені в «Положенні про порядок підготовки магістрів у Вінницькому національному технічному університеті» з урахуванням змін, що подані у бюлетені ВАК України № 9-10, 2011р. та на основі ДСТУ 3008:2015.

9. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

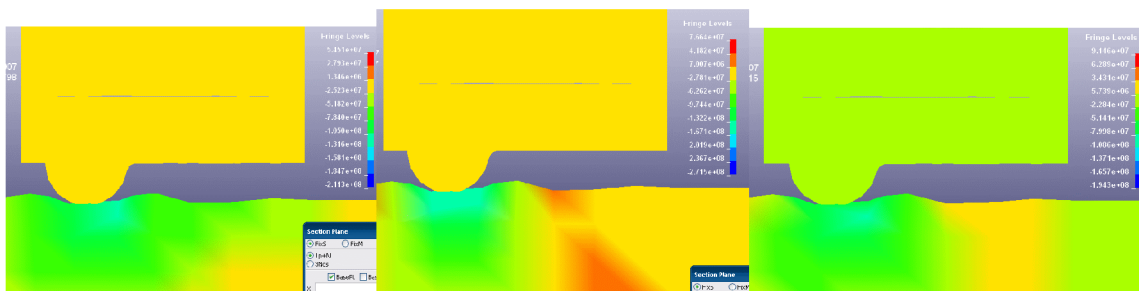
Відсутні.

Додаток Б

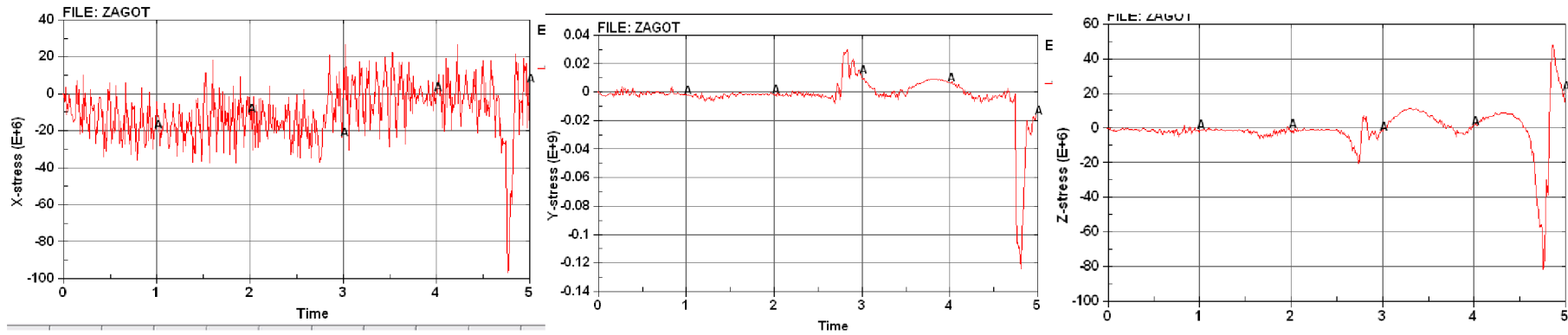
Графічна частина



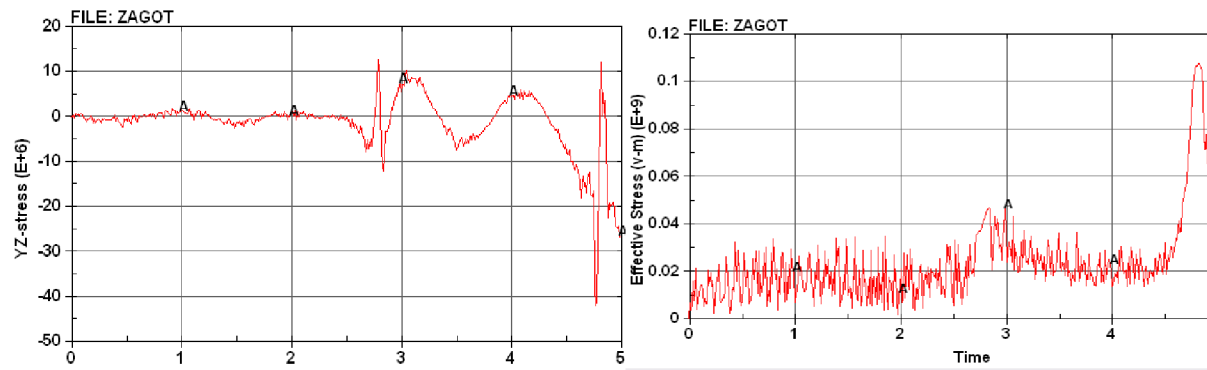
Зони деформування в перерізі деталі



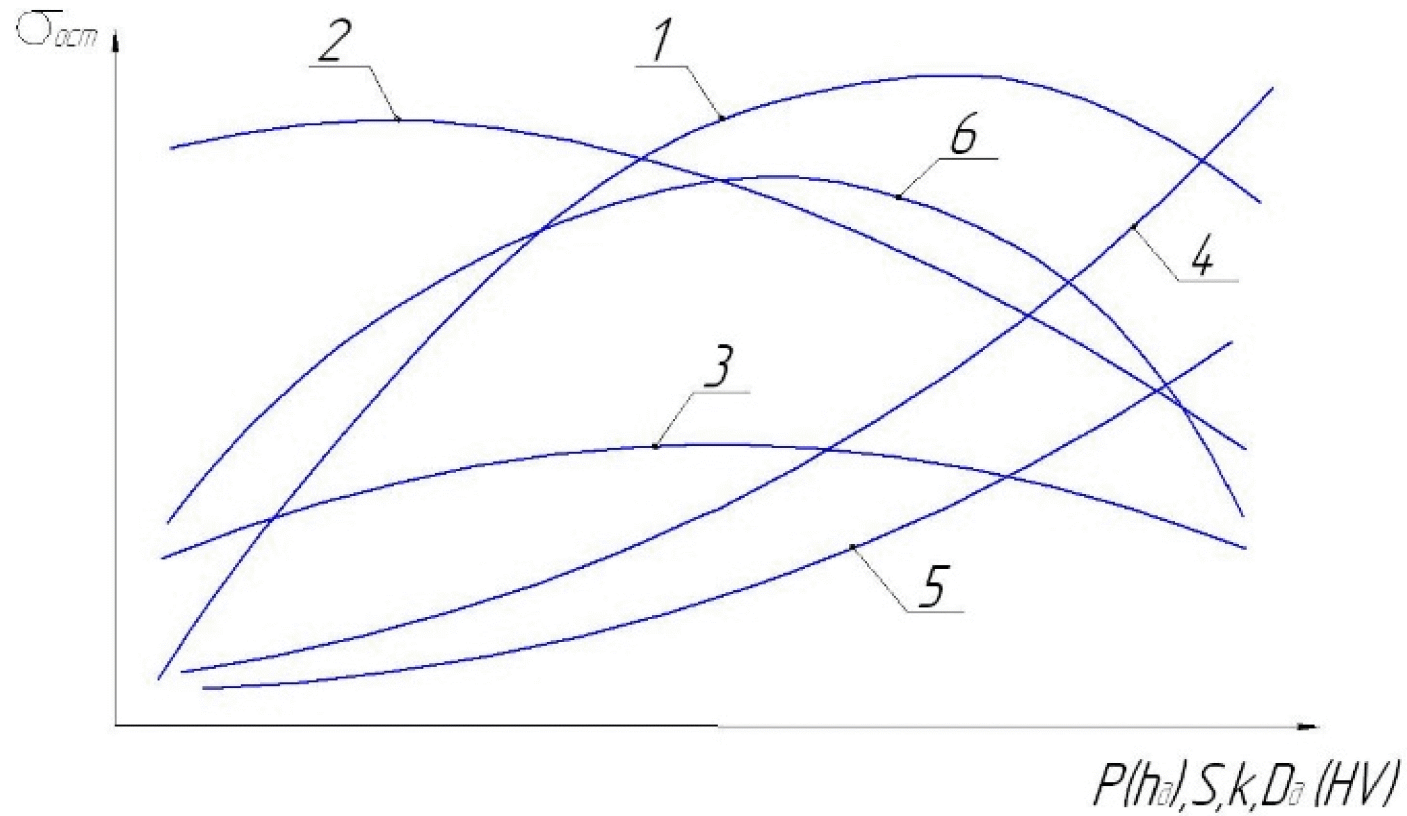
Нормальні напруження ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$)



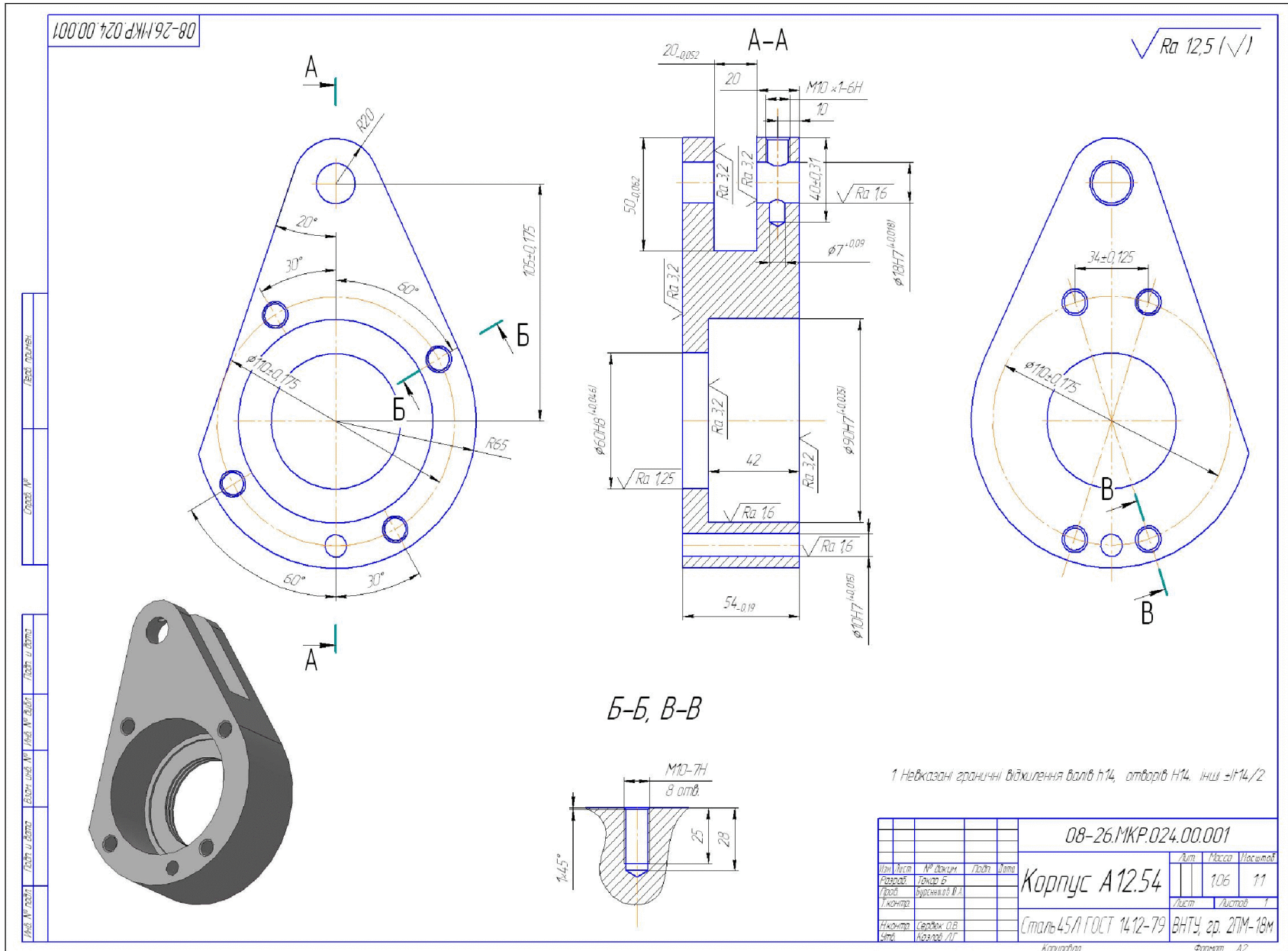
Нормальні напруження ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$)

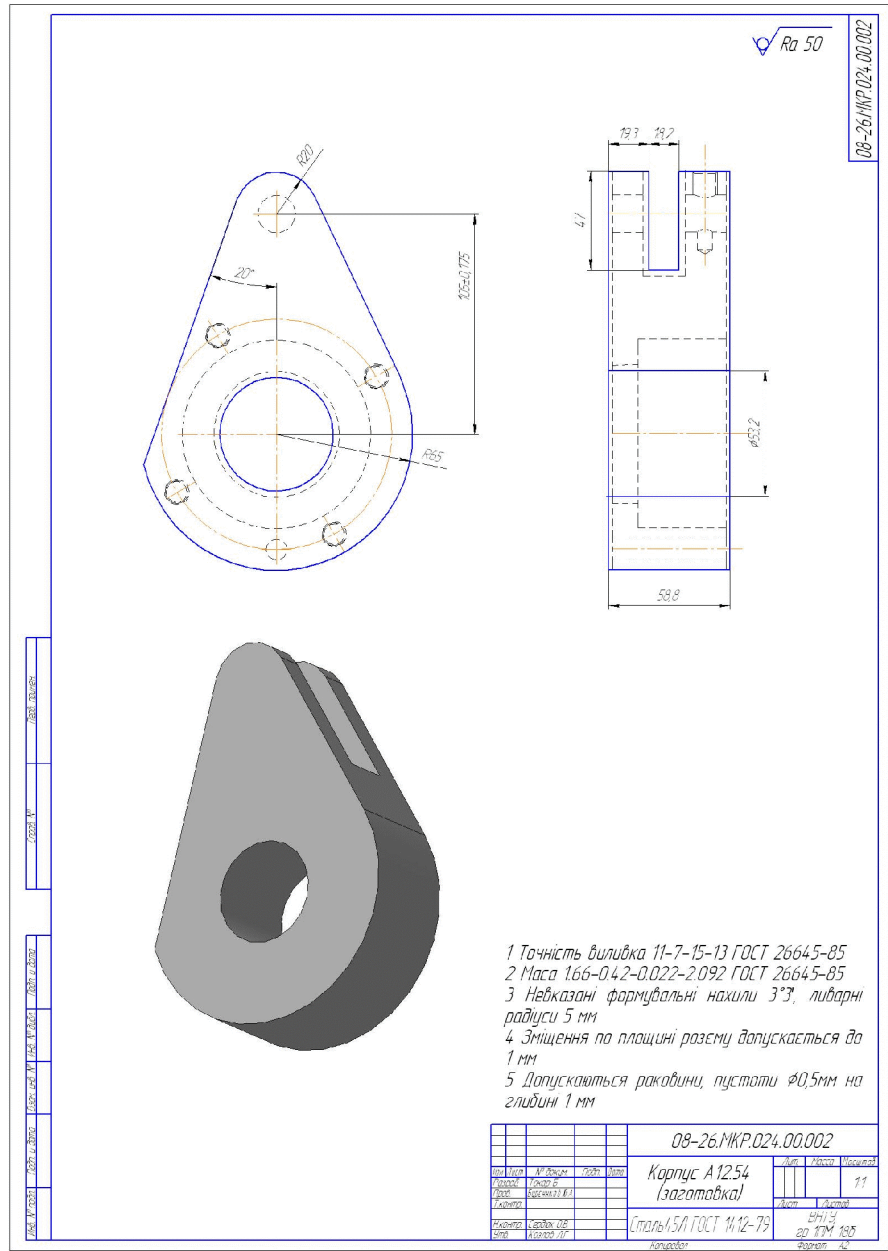


Дотичні напруження та інтенсивність напружень



Взаємозв'язки величини та глибини розповсюдження осьових остаточних напружень з технологічними параметрами режиму обробки ППД: (1 – нормальне підсилення P (натяг h_a); 2 – подача S ; число ходів k ; 4 – діаметр деталі D_d ; 5 – вихідна твердість HV (HB); 6 – діаметр ролика D_p)





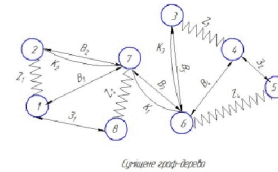
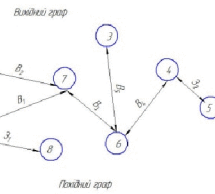
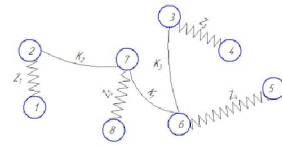
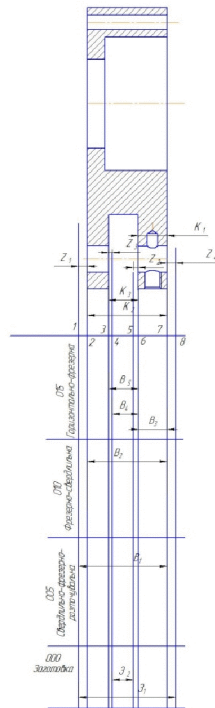
Маршрут механічної обробки

№	Операції, переходи	Ескізи та схеми установки	Моделі верстатів
005	<p>Вертикально-свердильно-фрезерно-розточувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Фрезерувати площину 1 3 Розточити отвір 2 в розмір в розмір $\varnothing 59,84 (+0,25)$ 4 Розточити отвір 3 попередньо в розмір $\varnothing 89,84 (+0,25)$ 5 Розточити отвір 3 остаточно в розмір $\varnothing 89,74 (+0,1)$ 6 Розточити отвір 2 остаточно в розмір згідно ескізу 7 Розточити отвір 2 в розмір в розмір $\varnothing 59,94 (+0,1)$ 8 Розточити отвір 2 в розмір згідно ескізу 9 Центрувати отвори 4, 5 та 6 10 Свердлити отвір 5 в розмір $\varnothing 171 (-0,12)$ 11 Зенкувати фаску в отворі 5 12 Зенкувати отвір 5 в розмір $\varnothing 18,74 (+0,06)$ 13 Розвернути отвір 5 14 Свердлити отвір 4 в розмір $\varnothing 91 (-0,12)$ 15 Зенкувати отвір 4 в розмір $\varnothing 9,8 (+0,04)$ 16 Розвернути отвір 4 17 Свердлити отвори 6 18 Зенкувати фаску в отворах 6 19 Нарізати різь в отворах 6 20 Зняти деталь 	<p>Невказані граничні відхилення розмірів отвору Н14, валу h14, інших IT14/2</p>	<p>Вертикально-свердильно-фрезерно-розточувальний 2254В1Ф3</p>
010	<p>Фрезерно-свердильна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Фрезерувати площину 1 3 Центрувати 4 отвори 2 4 Свердлити 4 отвори 2 в розмір $\varnothing 4 (+0,25)$ 5 Зенкувати фаску в 4 отворах 2 6 Нарізати різь в 4 отворах 2 7 Зняти деталь 	<p>Невказані граничні відхилення розмірів отвору Н14, валу h14, інших IT14/2</p>	<p>Вертикальний свердильно-фрезерний БР13РФ3</p>

Маршрут механічної обробки

№	Операції, переходи	Ескізи та схеми установки	Моделі верстатів
015	<p>Горизонтально-фрезерна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Фрезерувати паз 1 3 Зняти деталь 	<p>Невказані граничні відхилення розмірів отвору Н14, валу h14, інших IT14/2</p>	<p>Горизонтально-фрезерний 6Т82Г</p>
020	<p>Свердильна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Центрувати отвір 1 3 Свердлити отвір 1 в розмір $\varnothing 4 (+0,12)$ на глибину $4,5(+1)$ 4 Розсвердлити отвір 1 на глибину $12(+1)$ в розмір $\varnothing 9,2 (+0,1)$ 5 Зенкувати фаску в отворі 1 6 Нарізати різь в отворі 1 7 Зняти деталь 	<p>Невказані граничні відхилення розмірів отвору Н14, валу h14, інших IT14/2</p>	<p>Вертикально-свердильний з ЧПК 2Р135Ф3</p>

Розмірний аналіз технологічного процесу



Таблиця 1 – Рівняння розрахунку розмірів технологічних ланоків

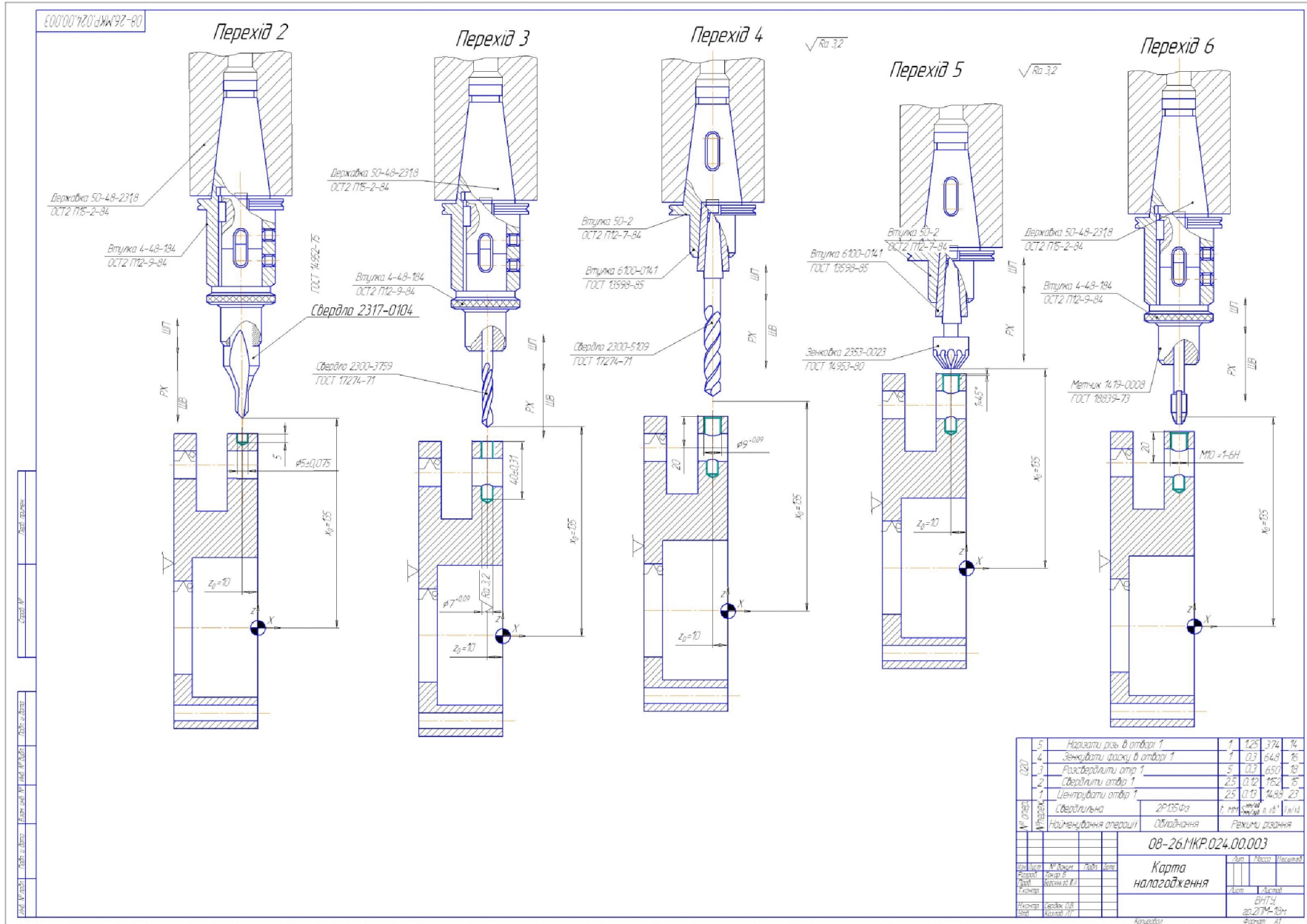
Розрахункове рівняння	Вийдений рівняння	Невідома ланка
$K_2 - B_2 = 0$	$K_2 = B_2$	B_2
$K_1 - B_1 = 0$	$K_1 = B_1$	B_1
$K_3 - B_3 = 0$	$K_3 = B_3$	B_3
$B_1 + Z_1 - B_2 = 0$	$Z_1 = B_2 - B_1$	B_1
$B_4 + Z_4 - B_3 = 0$	$Z_4 = B_3 - B_4$	B_4
$Z_2 + B_1 - B_3 = 0$	$Z_2 = B_3 - B_1$	B_3
$Z_4 + B_3 - B_5 = 0$	$Z_4 = B_5 - B_3$	B_5

Таблиця 2 – Значення технологічних розмірів, розмірів заготовки та її допуску

Позначення розміру	Технологічний розмір		Допуск	Помилка вийдений розмір	Висхідний розмір заготовки	Значення розміру заготовки
	Мінімальний розмір	Максимальний розмір				
Z_1	56,6	59,2	1,6	39,4		59,4(±0,8)
Z_2	19,74	21,04	1,3	20,39		20,39(±0,65)
B_1	56,8	57,8	1,0	57,3	57,3(±0,5)	
B_2	543,38	54	0,62	54	54,0	
B_3	20,71	20,39	0,32	20	20(±0,29)	
B_4	17,1	17,94	0,84	17,52	17,52(±0,42)	
B_5	19,74	20,26	0,52	20	20(±0,26)	

Таблиця 3 – Припуски на механічну обробку

Припуск	Мінімальний, мм	Максимальний, мм
Z_1	1,8	3,42
Z_2	1,8	3,4
Z_3	1,8	3,16
Z_4	1,8	3,94



Елементи ділянки механічної обробки

Таблиця 1 - Розрахунок кількості обладнання

N _{об}	Назва операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Коефіцієнт завантаження	Середній коефіцієнт завантаження	Коефіцієнт завантаження по основному часові.
005	Багатоцільова	0,98	1	0,98		
010	Фрезерна з ЧПК	0,60	1	0,60	0,75	
015	Горизонтально-фрезерна	0,4449	1	0,4449	0,5735	
020	Вертикально-свердлильна	0,503	1	0,503	0,7857	

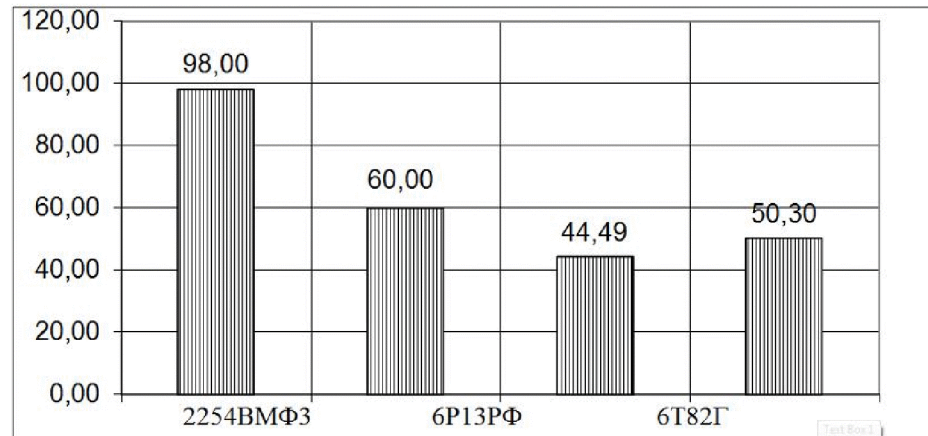


Рисунок 1 – Графік завантаження обладнання

Таблиця 2 – Кількість робітників –верстатників

Назва операції	Прийнята кількість верстатів, С _{вр}	Ф _д , год	K _з	K _м	P, чол	P _{вр} , чол
Багатоцільова	1	2040	0,98	1	1,1	2
Фрезерна з ЧПК	1		0,60	1	0,67	1
Горизонтально-фрезерна	1		0,444	1	0,49	1
Вертикально-свердлильна	1		0,503	1	0,56	1

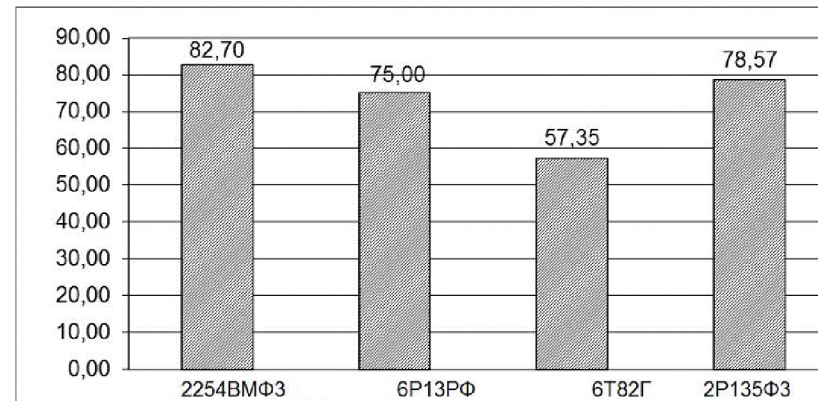


Рисунок 2 – Графік використання обладнання за основним часом