

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ
ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ "КРИШКА 25.04"**

Виконав: студент 2-го курсу, групи ІПМ-23м
спеціальності 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Пиливець М.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ТАМ

Сердюк О.В.
(прізвище та ініціали)

« 18 » 12 2024 р.

Опонент: к.е.н., доц. каф. АТМ

Макарова Т.В.
(прізвище та ініціали)

« 20 » 12 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТАМ

д.т.н., проф. Козлов Л.Г.
(прізвище та ініціали)

« 18 » 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
 Факультет Машинобудування та транспорту
 Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування
 Рівень вищої освіти П-й (магістерський)
 Галузь знань – 13-Механічна інженерія
 Спеціальність – 131 – Прикладна механіка
 Освітньо-професійна програма – Технології машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

д.т.н., проф. Козлов Л.Г.

24 вересня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Пулявцю Максиму Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

3. Тема магістерської кваліфікаційної роботи
Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі
типу "Кришка 25.04"
 керівник роботи к.т.н., доц. Сердюк О.В.

затверджені наказом ВНТУ від 17.09.2024 року № 310

2. Строк подання студентом роботи 17 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі Кришка 25.04,
програма випуску 6200 шт

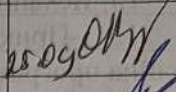
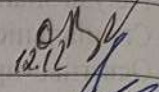
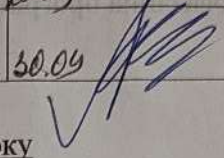
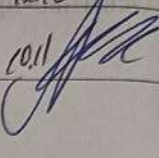
4. Зміст текстової частини:

Оптимізація конструкції деталі, технологічна частина, проектування ділянки
механічної обробки, економічна частина

5. Перелік ілюстративного матеріалу

креслення деталі, заготовки, маршрут механічної обробки, карта
налагодження, планівка механоскладальної ділянки, результати дослідження
на міцність деталі

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	К.т.н., доц. Сердюк О.В.		
Економічна частина	К.е.н., проф. Лесько О.Й.		

7. Дата видачі завдання 24 вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	П. м.
	Визначення об'єкта та предмету дослідження	до 25.10.2024	
	Аналіз відомих рішень, постановка задач	до 25.10.2024	
	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	до 30.10.2024	
	Розв'язування поставлених задач	до 20.11.2024	
	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	до 22.11.2024	
	Виконання розділу «Економічна частина»	до 25.11.2024	
	Проходження руджного контролю	до 25.11.2024	
	Попередній захист МКР	до 02.12.2024	
	Перевірка роботи плагіат	до 04.12.2024	
	Нормоконтроль МКР	до 13.12.2024	
	Рецензування МКР	до 13.12.2024	
	Захист МКР	до 25.12.2024	

Студент

Керівник роботи

(підпис)

(підпис)

Пілявець М.І.

Сердюк О.В.

АНОТАЦІЯ

Пилявець М.І. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу "Кришка 25.04". – Вінниця: ВНТУ, 2024 – 102 с. РПЗ, 10 аркушів формату А1.

В даній роботі було виконано модернізацію технологічного процесу механічної обробки та розраховано оптимальні режими обробки, а саме: досліджено процес розкочування отворів і запропоновано його використовувати при обробці деталі кришка 25.04; проведено аналіз конструкції і технологічності деталі; вибрано спосіб виготовлення заготовки; спроектовано модернізований маршрут механічної обробки деталі на верстатах з ЧПК з розробкою змісту операцій, здійснено розмірний аналіз технологічного процесу та встановлені технологічні розміри, розміри припусків та заготовки, визначено режими різання з урахуванням оптимізації, спроектована дільниця механічної обробки; розроблена програма для верстата з ЧПУ.

Розроблена графічна частина.

В економічній частині розраховано собівартість виготовлення деталі та термін окупності такого проекту.

Ключові слова: обкочування, маршрут механічної обробки, напруження, технологічність деталі, деформації.

ABSTRACT

Pylyavets M.I. Improvement of the technological process of machining a workpiece of the "lid 25.04" type. – Vinnytsia: VNTU, 2024 – 102 p. RPZ, 10 sheets of A1 format.

In this work, the technological process of machining was modernized and the optimal processing modes were calculated, namely: the process of rolling holes was studied and it was proposed to use it when machining the lid 25.04 part; an analysis of the design and manufacturability of the part was carried out; a method of manufacturing the workpiece was selected; a modernized route of machining the part on CNC machines was designed with the development of the content of operations, a dimensional analysis of the technological process was carried out and technological dimensions, allowances and workpiece sizes were established, cutting modes were determined taking into account optimization, a machining section was designed; a program for a CNC machine was developed.

The graphic part was developed.

In the economic part, the cost of manufacturing the part and the payback period of such a project are calculated.

Keywords: rolling, machining route, stress, manufacturability of the part, deformations.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ППД НА СТУПІНЬ ЗМІЦНЕННЯ ТА ВИКОРИСТАНИЙ РЕСУРС ПЛАСТИЧНОСТІ....	7
1.1 Ступінь зміцнення поверхневого шару.....	7
1.2 Оцінка пластичності металу в поверхневому шарі.....	9
1.3. Оцінка впливу параметрів процесу поверхневого пластичного деформування на зміцнення та величину використаного ресурсу пластичності.....	14
1.4. Впливу параметрів процесу ППД на величину використаного ресурсу пластичності при вдавлюванні кульки.....	19
2 РОЗРОБКА МАРШРУТУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ.....	29
2.1 Аналіз технологічності конструкції деталі	29
2.2 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування методу одержання заготовки.....	31
2.3 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь.....	35
2.4 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чистових та чорнових технологічних баз.....	36
2.5 Розробка варіантів маршруту механічної обробки модернізованого технологічного процесу	39
2.6 Розмірно-точностне моделювання технологічного процесу.....	41
2.7 Розрахунок проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні Ø38H8.....	45
2.8 Призначення режимів різання.....	48
2.9 Розрахунок технічних норм часу.....	49
3 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ.....	51
3.1 Розрахунок зусилля закріплення.....	51
3.2 Аналіз похибки установки заготовки в пристосуванні.....	54

	7
3.3 Розробка конструктивної схеми пристосування.....	57
3.4 Силовий розрахунок пристосування.....	58
3.5 Розмірне моделювання та аналіз конструкції пристосування на точність.....	58
3.6 Технічні характеристики розробленого пристосування.....	60
4 ПРОЕКТУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ.....	61
4.1 Розрахунок приведеної програми.....	61
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження....	64
4.3 Визначення кількості працюючих на ділянці	65
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	69
5.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки.....	69
5.2 Прогноз попиту на інноваційне рішення.....	72
5.3 Вибір каналів збуту та після продажного обслуговування	73
5.4 Виявлення основних конкурентів.....	74
5.5 Обрання методу ціноутворення.....	75
5.6 Оцінка рівня якості інноваційного рішення.....	75
5.7 Оцінка конкурентоспроможності інноваційного рішення.....	78
5.8 Прогнозування витрат на виконання роботи.....	85
5.9 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	88
ВИСНОВКИ.....	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93
ДОДАТКИ.....	96
Додаток А (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи наявності текстових запозичень.....	97
Додаток Б (обов'язковий) Графічна робота.....	98

ВСТУП

Актуальність. Машинобудування – є важливою галуззю промисловості України. З його розвитком підвищується якість машин, приладів, механізмів,

скорочуються строки виготовлення. Це все залежить від досконалості технологій. Ефективність машинобудування розвивається з вдосконаленням сучасних технологій, і спрямоване на підвищення швидкості обробки та скорочення основного та допоміжного часу на обробку.

Мета і завдання дослідження. Мета магістерської кваліфікаційної роботи – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Кришка 25.04» шляхом застосування прогресивних технологічних процесів з використанням високопродуктивного обладнання, сучасного підходу до вибору верстатів, інструментів, оснащення, що забезпечить необхідну якість деталей при скороченні часу обробки, зменшенні необхідної кількості обладнання, працюючих, площ, енерговитрат, собівартості виробу.

Для досягнення поставленої мети повинні бути виконані такі **завдання**:

- провести огляд технології виготовлення деталі типу «Кришка »;
- на основі робочого креслення деталі виконати якісний та кількісний аналіз технологічності конструкції деталі;
- встановити тип виробництва та форму організації роботи;
- вибрати метод та оптимальний спосіб виготовлення заготовки, виконавши відповідне техніко-економічне обґрунтування;
- вибрати методи обробки поверхонь деталі «Кришка 25.04»;
- обґрунтувати вибір чистових та чорнових технологічних баз;
- розробити удосконалені варіанти маршруту механічної обробки заготовки деталі типу «Кришка 25.04»;
- вибрати кращий з розроблених маршрутів механічної обробки за мінімумом приведених витрат;
- розрахувати режими різання, обрати оптимальні режими для обробки корпусу, з урахуванням матеріалу деталі;
- виконати нормування операцій технологічного процесу;
- встановити приведену програму виробів;
- розрахувати кількість обладнання та працюючих, що необхідні для забезпечення механічної обробки деталі;

- провести розрахунок економічної доцільності впровадження удосконаленого ТП;

- розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення деталей типу «Кришка».

Предмет дослідження – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Кришка 25.04».

Методи дослідження. Метод теорії розмірних ланцюгів, який дозволив виконати розмірно-точноє моделювання технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Кришка 25.04»; метод лінійного програмування (симплекс-метод), який дозволив визначити оптимальні режими різання.

Наукова новизна одержаних результатів. Дістала подальший розвиток методика визначення точності обробки на прикладі остаточного (тонкого) розточування головного отвору в заготовці корпусної деталі на багатоцільовому свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті.

Практичне значення одержаних результатів полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Кришка 25.04» на базі використання сучасних підходів до побудови технологічних процесів механічної обробки, впровадження прогресивного автоматизованого обладнання, що дозволяє підвищити якість оброблених деталей, зменшити їх собівартість, суттєво скоротити при цьому виробничі площі.

1 ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ППД НА СТУПІНЬ ЗМІЦНЕННЯ ТА ВИКОРИСТАНИЙ РЕСУРС ПЛАСТИЧНОСТІ

1.1 Ступінь зміцнення поверхневого шару

Найбільш широко в даний час оцінка ступеня зміцнення поверхневого шару при ППД проводиться за ступенем наклепу, яка визначається по зміні твердості (мікротвердості) металу за формулою:

$$\delta = \frac{H_y - H_0}{H_0} \cdot 100\% \quad (1.1)$$

де H_y - твердість зміцненої поверхні;

H_0 - вихідна твердість матеріалу.

Цей критерій набув широкого застосування через простоту і доступність. Однак використання цього критерію для оцінки ступеня зміцнення деяких матеріалів, наприклад, титанових і деяких алюмінієвих сплавів, затруднене, тому що твердість титанових сплавів при зміцненні практично не змінюється, а заміри твердості алюмінієвих сплавів дають великий розкид результатів через структурної неоднорідності матеріалу.

Оцінка ступеня зміцнення поверхневого шару по збільшенню твердості має низьку чутливість в областях інтенсивної деформації, де приріст твердості має затухаючий характер у порівнянні з похибкою вимірювання.

Різні матеріали мають різну схильність до збільшення твердості при одних і тих же умовах обробки, тому зіставлення ступеня зміцнення поверхневого шару за критерієм (1.1) не завжди зручно.

Обробка ППД супроводжується пластичною деформацією, проте міра твердості перестала бути мірою пластичної деформації металу і, в зв'язку з цим, несе в собі малу інформацію про зміни, що відбуваються в поверхневому шарі.

У цьому сенсі більш об'єктивно характеризувати зміцнення металу при

ППД критеріями, заснованими на оцінці величини деформації.

Автори роботи [1] вважають, що складний напружений стан, в якому знаходиться матеріал обкатаного тіла, вимагає оцінки деформації по інтенсивності деформації. Для визначення інтенсивності деформації вони пропонують використовувати встановлені Делем Г.Д. тарувальні залежності твердість - інтенсивність деформацій - інтенсивність напружень.

Як характеристики інтенсивності деформації ними - запропонована інтегральна величина приросту твердості матеріалу за період формоутворення. Однак цей критерій мало чим відрізняється від критерію і йому притаманні ті ж недоліки.

Автори робіт [2,3] запропонували в якості міри деформації при ППД використовувати співвідношення геометричних розмірів відбитка при статичному вдавлюванні інструменту в деталь або залишкової сліду після одиничного проходу інструменту.

Кудрявцевим Ж.В. [4] запропоновано оцінювати ступінь деформації по глибині пластичного вдавнення інструменту. Використання параметрів контакту інструменту з деталлю дозволяє оцінити зміцнення металу і при припиненні приросту твердості.

В якості показника ступеня зміцнення поверхневого шару Смялянським В.М. запропонував використовувати механічні характеристики деформації: інтенсивність швидкостей деформації зсуву і ступінь деформації зсуву, що є скалярними величинами і мають математичне визначення в теорії пластичності. Механізм накопичення деформації і зміцнення поверхневого шару був розглянутий з урахуванням особливостей, властивих процесу обкатування і вигладжування: дробності прикладання навантаження, складної історії навантаження, пластичного хвилеутворення, впливу позаконтактної зони осередку деформації на накопичення деформації.

Використовувані в якості критерію ступеня зміцнення інтенсивність швидкостей деформації зсуву і ступінь деформації зсуву відображають міру пластичної деформації незалежно від здатності металу збільшувати твердість в

результаті накопичення пластичної деформації.

1.2 Оцінка пластичності металу в поверхневому шарі

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, 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

$$e_p = \int_0^{t_p} \dot{\epsilon}_u d\tau, \quad (1.2)$$

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

$$\eta = \frac{I_1(T_\sigma)}{\sqrt{3}I_2(D_\sigma)} = \frac{3\sigma}{\sigma_u}, \quad (1.3)$$

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

$$\psi = \frac{e_u}{e_p(\eta)} < 1, \quad (2.4)$$

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

ψ – використаний ресурс пластичності.

Критерій (2.4) 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 [58]

$$\psi = \int_0^t \frac{\dot{\epsilon}_u d\tau}{e_p(\eta)} < 1. \quad (1.5)$$

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

$$e_u = \int_0^t \dot{\epsilon}_u d\tau \quad (1.6)$$

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 здеформовуваності в вигляді [9]

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

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

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 [40-45] 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 [7,8] 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 [6] 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

$$\psi = \int_0^{e_u^*} n \frac{e_u^{n-1} de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)^n} < 1, \quad (1.8)$$

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

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.

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 розрахункові напруженого і деформованого стану осередку деформації при обкатуванні було встановлено, що деформування має немонотонний 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 :

$$\psi = \sum \left[\frac{e_u}{e_{pj}(\eta_j)} \right]^{\alpha_j(\eta_j)} \quad (1.10)$$

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.

1.3. Оцінка впливу параметрів процесу поверхневого пластичного деформування на зміцнення та величину використаного ресурсу пластичності

При пластичній деформації поверхневого шару металу пластична течія металу супроводжується не тільки його зміцненням, але і розвитком його пошкодженості, яка зменшує запас пластичності [5-7]. Зростання густини дислокацій, які зароджуються на перших стадіях пластичної течії металу, в залежності від інтенсивності технологічних факторів і законів їх зміни в процесі деформації, обумовлює як зміцнення деформованого металу, так і приводить до зародження субмікро-, мікро- і макротріщин.

У відповідності із сучасним уявленням про втому металу ці дефекти поверхневого шару металу під дією експлуатаційних навантажень можуть розвиватися, тому працездатність деталей буде залежати не тільки від рівня експлуатаційних та залишкових напружень, ступеня зміцнення, але і від рівня пошкодженості поверхневого шару металу. Таким чином, наряду із іншими характеристиками пошкодженості металу поверхневого шару є важливою інтегральною характеристикою стану поверхневого шару металу.

В якості кількісної характеристики пошкодженості поверхневого шару дефектами, обумовленими його пластичною деформацією, будемо використовувати величину використаного ресурсу пластичності ψ . На даний час установлено, що для забезпечення необхідної технологічної спадковості поверхневого пластичного деформованого шару металу необхідно, щоб

величина ψ не перевищувала значень $\psi \leq 0,4 \dots 0,6$. [5,7], в залежності від фізико-механічних властивостей металу і умов експлуатації деталі.

Виходячи із гіпотези про єдину криву течії σ_u (e_u), ступінь зміцнення будемо визначати як величиною границі текучості σ_u , так і величиною накопиченої пластичної деформації e_u . Тому параметри процесу і режими поверхневого пластичного деформування необхідно вибрати так, щоб досягти найбільших значень накопиченої пластичної деформації e_u при допустимому рівні величини використаного ресурсу пластичності.

При холодній пластичній деформації крива течії однозначно описує залежність інтенсивності напружень σ_u від ступеня деформації e_u незалежно від виду напруженого стану. Тому криву течії для сталі 45 будували на основі випробувань суцільних циліндричних зразків діаметром $d_0 = 10\text{мм}$ і висотою $h_0 = 15\text{мм}$ на осадку. При цьому величину σ_u визначали за формулою

$$\sigma_u = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (1.8)$$

де P – величина навантаження,

d – діаметр зразка, який відповідає даній силі навантаження.

Ступінь деформації визначається за формулою

$$e_u = \ln \frac{h_0}{h} \quad (1.9)$$

де h_0 – початкова висота зразка,

h – висота зразка після навантаження.

Для апроксимації експериментальної залежності σ_u від e_u використовували одну із найбільш поширених в даний час апроксимацій;

$$\sigma_u = \sigma_0 + A e_u^n; \quad (1.10)$$

$$\sigma_u = Ae_u^n; \quad (1.11)$$

$$\sigma_u = \sigma_{np} - c_1 \exp(-e_u) - c_2 \exp(-Ne_u); \quad (1.12)$$

де σ_0 , A , n , σ_{np} , c_1 , c_2 , N – коефіцієнти, які визначаються експериментально.

Остання апроксимація (2.12) більш точно описує залежність інтенсивності напружень σ_u від ступеня деформації e_u при великих значеннях e_u , так як згідно апроксимації (1.12) інтенсивність напружень σ_u з ростом накопиченої пластичної деформації e_u наближається до деякого граничного значення. В апроксимаціях (1.10), (1.11) з ростом e_u напруження текучості σ_u необмежено зростає, що суперечить фізичній картині зміцнення, яке в реальних умовах супроводжується накопиченням пошкоджень. На перших етапах пластичного деформування швидкість зміцнення перевищує швидкість накопичення пошкоджень. Але з ростом пластичної деформації швидкість зміцнення зменшується, а швидкість накопичення пошкоджень зростає. Тому для забезпечення необхідних фізико-хімічних характеристик матеріалу поверхневого шару, процес пластичної деформації необхідно закінчувати при таких значеннях накопиченої деформації e_u , при яких виконується умова, що швидкість зміцнення $\frac{d\sigma_u}{\sigma_u de_u}$ дорівнює

швидкості накопичення пошкоджень $\frac{d\psi}{de_u}$ тобто

$$\frac{d\sigma_u}{\sigma_u de_u} = \frac{d\psi}{de_u}. \quad (1.13)$$

Якщо використовувати апроксимації кривої течії (3.31) або (3.32), то

$$\frac{d\sigma_u}{de_u} = Ane_u^{n-1}, \quad (1.14)$$

а із (3.24) отримаємо:

$$\frac{d\psi}{de_u} = m \frac{e_u^{m-1}}{e_p^*(\eta, \mu_\sigma)^m}. \quad (1.15)$$

З урахуванням (3.35) - (3.37) отримаємо:

$$\frac{Ane_u^{n-1}}{\sigma_u} = m \frac{e_u^{m-1}}{e_p^*(\eta, \mu_\sigma)^m}, \quad (1.16)$$

або

$$e_u = \left[\frac{\sigma_u m}{Ane_p^*(\eta, \mu_\sigma)^m} \right]^{\frac{1}{n-m}}. \quad (1.17)$$

Із аналізу (3.37) випливає, що ступінь деформації e_u і, відповідно, ступінь зміцнення, тобто, величина границі текучості σ_u , залежить від чутливості пластичності металу, що деформується, до схеми напруженого стану, яка описується поверхнею граничних деформацій $e_p(\eta, \mu_\sigma)$. Ступінь зміцнення залежить, також, від історії навантаження, яка описується траєкторією навантаження $\eta(e_u)$, $\mu_\sigma(e_u)$, та від параметра m , який визначається формулою:

$$m = 1 + a \frac{d\eta}{de_u} - b \frac{d\mu_T}{de_u}. \quad (1.18)$$

Тобто, для заданого матеріалу досягти максимального зміцнення при заданій величині використаного ресурсу пластичності можна, тільки за рахунок задання відповідної історії навантаження. Історія навантаження, в свою чергу, залежить від параметрів процесу поверхневого пластичного деформування і законів їх зміни в процесі деформації.

Одним із параметрів, який впливає на ступінь зміцнення і рівень пошкодженості металу є подача. При збільшенні подачі зменшується доля

поверхні деталі, яка підлягає повторній деформації, що з одного боку обумовлює зменшення твердості поверхневого шару, а з іншого, потребує збільшення кількості переходів. При зменшенні подачі виникають зони поверхні, в яких ступінь деформації перевищуватиме значення, розраховані з міркувань, що зони пластичних деформацій сусідніх осередків не перекриваються. Тому вплив подачі залежить, в основному, від розмірів осередку пластичної деформації, які, в свою чергу, залежать від величини контактного тиску, механічних властивостей металу і розмірів і геометричних характеристик деформуючого інструменту.

При зменшенні розмірів осередку деформації, яке має місце при зменшенні тиску, підвищенні твердості матеріалу деталі та при відповідній зміні розмірів і геометрії інструменту, вплив подачі зростає. Однак зміна подачі в межах, які рекомендуються в літературі [7], практично не впливає на глибину зміцнення.

Збільшення числа робочих ходів, з урахуванням подачі, зменшує продуктивність процесу поверхневого пластичного деформування. Однак при проведенні ППД за кілька робочих ходів, при відповідному виборі параметрів ППД можна досягти збільшення зміцнення при заданій величині використаного ресурсу пластичності за рахунок немонотонності навантаження.

Необхідно відмітити, що збільшення числа переходів при незмінному зусиллі практично не впливає на глибину пластичного деформованого шару. Це обумовлено тим, що в результаті першого робочого ходу відбулося значне зміцнення, а тому при тому ж зусиллі під час послідовних робочих ходів деформація локалізується в меншому об'ємі і зростання глибини наклепу не відбувається.

Вплив інших технологічних факторів таких як радіус профілю деформуючого інструменту, радіус кривизни поверхні деталі, що обробляється, вихідної величини твердості проявляються в тому, що при сталому зусиллі, прикладеному до інструменту, збільшення приведених факторів приводить, в основному, до зменшення розмірів осередку деформації і площі контакту.

Таким чином, із аналізу приведених вище результатів, можна зробити висновок, що технологічні фактори мають значний вплив на механічні характеристики поверхневого пластично деформованого шару. Основним фактором, який впливає на величину і розподіл пластичних деформацій в поверхневому шарі деталі є геометрія і розміри осередку пластичної деформації, які визначаються параметрами процесу ППД.

Тому в даній роботі приділена увага дослідженням впливу на якість поверхневого шару металу тих параметрів процесу ППД, які впливають на характеристики осередку пластичної деформації.

1.4. Впливу параметрів процесу ППД на величину використаного ресурсу пластичності при вдавлюванні кульки

Для оцінки впливу параметрів процесу вдавлювання кульки на величину використаного ресурсу пластичності необхідно оцінити вплив цих параметрів на характер траєкторій навантажень, побудованих в координатах: η , μ_σ , e_u .

Розв'язок поставленої задачі отримано за допомогою програма «Ansys Workbench v.12.1».

Приклади полів розподілення інтенсивності напружень σ_u та ступеня деформації e_u отриманих за приведено на (рис. 1.1, 1.2).

Для знаходження коефіцієнта жорсткості η , параметра Надаї-Лоде μ_σ , ступеня деформації e_u , використаного ресурсу пластичності ψ використовували формули (1.3-1.6) і формулу (1.7). Отримані значення показників σ_u , η , μ_σ , e_u , ψ при вдавлюванні кульок різних діаметрів в циліндричну та плоску поверхні приведено в таблицях 1.1-1.2.

На основі результатів розрахунків будували траєкторії навантаження, які в подальшому використовували для розрахунків використаного ресурсу пластичності. На рис. 2.3-2.4 приведені приклади таких траєкторій для випадків

вдавлювання кульок різних діаметрів в плоску та циліндричну поверхні.
Траєкторії побудовані в координатах η , μ_σ , e_u .

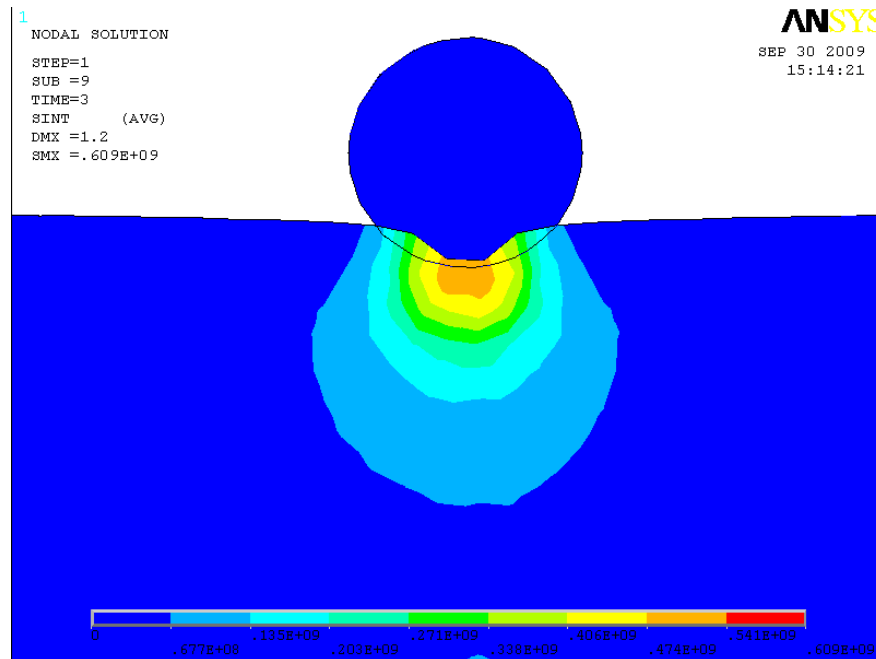


Рисунок 1.1 – Розподілення інтенсивності напружень при вдавлюванні кульки діаметром 12,7 мм. на глибину 0,2 мм в циліндричну поверхню.

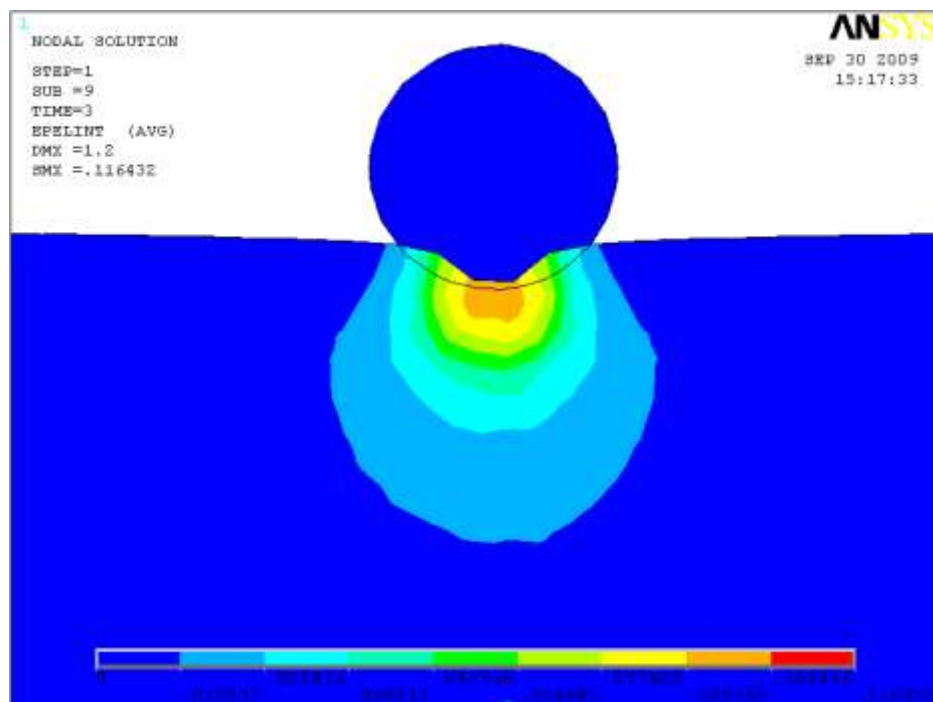


Рисунок 1.2 – Розподілення ступені деформації при вдавлюванні кульки діаметром 12,7 мм. на глибину 0,2 мм. в циліндричну поверхню.

Таблиця 1.1 – Значення показників σ_u , η , μ_σ , e_u , ψ при вдавлюванні кульок діаметрів в циліндричну поверхню

Глибина вдавлюван ня ролика в деталь h_i , мм	Значення показників при діаметрах d_i														
	$d_1 = 12,7$ мм.					$d_2 = 15,88$ мм.					$d_3 = 18,26$ мм.				
	σ_u , МПа	e_u	η	μ_σ	$\Delta\psi_i$	σ_u , МПа	e_u	η	μ_σ	$\Delta\psi_i$	σ_u , МПа	e_u	η	μ_σ	$\Delta\psi_i$
$h_1 = 0,8$	371	0,07	-2,43	0,408	0,0375	457	0,0874	-2,41	0,41	0,0467	444	0,085	-2,47	0,427	0,0436
$h_2 = 1,0$	520	0,1	-2,47	0,393	0,0147	520	0,0993	-2,47	0,393	0,0064	559	0,107	-2,75	0,406	0,0097
$h_3 = 1,2$	609	0,12	-2,73	0,379	0,0075	638	0,122	-3	0,379	0,0087	646	0,123	-3,02	0,397	0,0075
$\psi = \sum \Delta\psi_i$	—	—	—	—	0,0598	—	—	—	—	0,0618	—	—	—	—	0,061

Таблиця 1.2 – Значення показників σ_u , η , μ_σ , e_u , ψ при вдавлюванні кульок різних діаметрів в плоску поверхню

Глибина вдавлювання ролика в деталь h_i , мм	Значення показників при діаметрах d_i														
	$d_1 = 8$ мм.					$d_2 = 10$ мм.					$d_3 = 12$ мм.				
	σ_u , МПа	e_u	η	μ_σ	$\Delta\psi_i$	σ_u , МПа	e_u	η	μ_σ	$\Delta\psi_i$	σ_u , МПа	e_u	η	μ_σ	$\Delta\psi_i$
$h_1 = 0,8$	254,2	0,048	-1,99	0,46	0,032	369,4	0,071	-1,93	0,45	0,049	357	0,07	-2,05	0,47	0,044
$h_2 = 1,0$	412	0,08	-2,02	0,448	0,021	467,5	0,09	-1,63	0,451	0,016	525	0,100	-2,18	0,45	0,018
$h_3 = 1,2$	540	0,103	-2,19	0,45	0,014	615	0,118	-2,38	0,46	0,035	613	0,117	-2,46	0,46	0,008
$\psi = \sum \Delta\psi_i$	—	—	—	—	0,067	—	—	—	—	0,08	—	—	—	—	0,071

Для оцінки впливу геометричних характеристик кульки і оброблюваної поверхні на напружено-деформований стан використаємо результати попереднього підрозділу та побудуємо графіки залежностей інтенсивності напруження, ступені деформації, показника жорсткості та параметра Надаї-Лоде від глибини вдавлювання кульки в площину і в циліндричну поверхню для різних діаметрів цієї кульки.

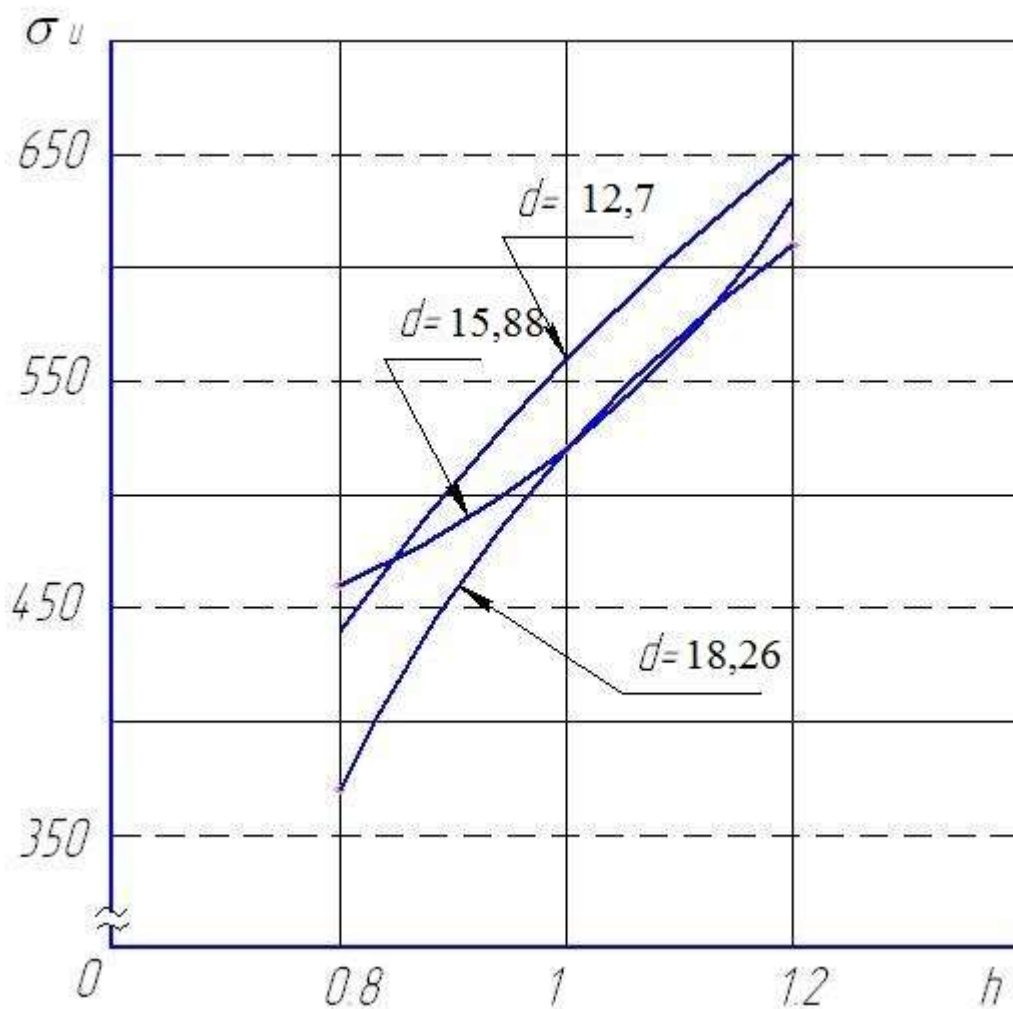


Рисунок 1.3 – Графік залежностей інтенсивності напруження від глибини вдавлювання кульки в циліндричну поверхню для різних діаметрів цієї кульки

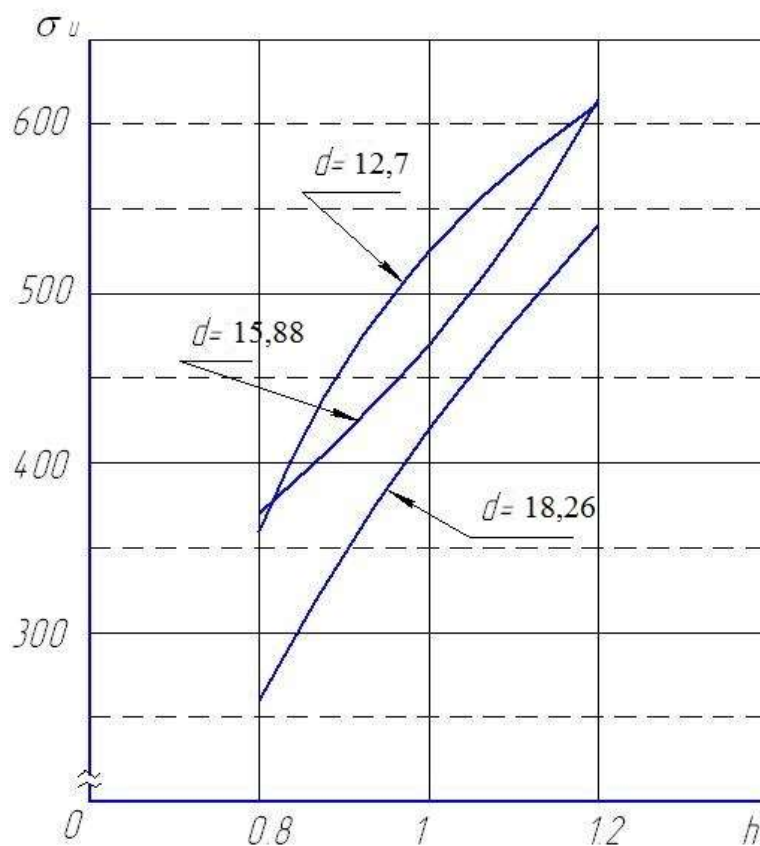


Рисунок 1.4 - Графік залежностей інтенсивності напруження від глибини вдавлювання кульки в плоску поверхню для різних діаметрів цієї кульки

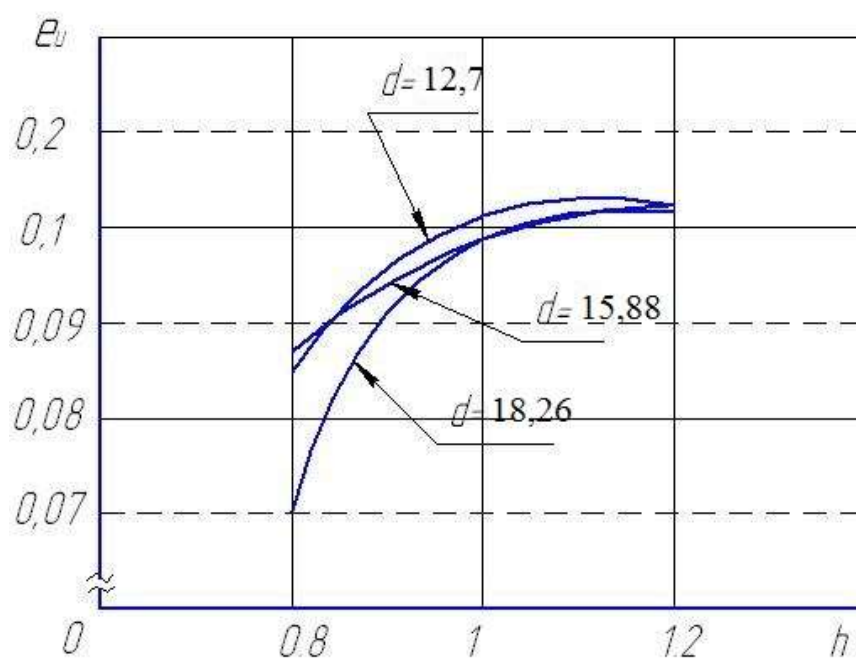


Рисунок 1.5 – Графік залежностей ступеня деформації від глибини вдавлювання кульки в циліндричну поверхню для різних діаметрів цієї кульки

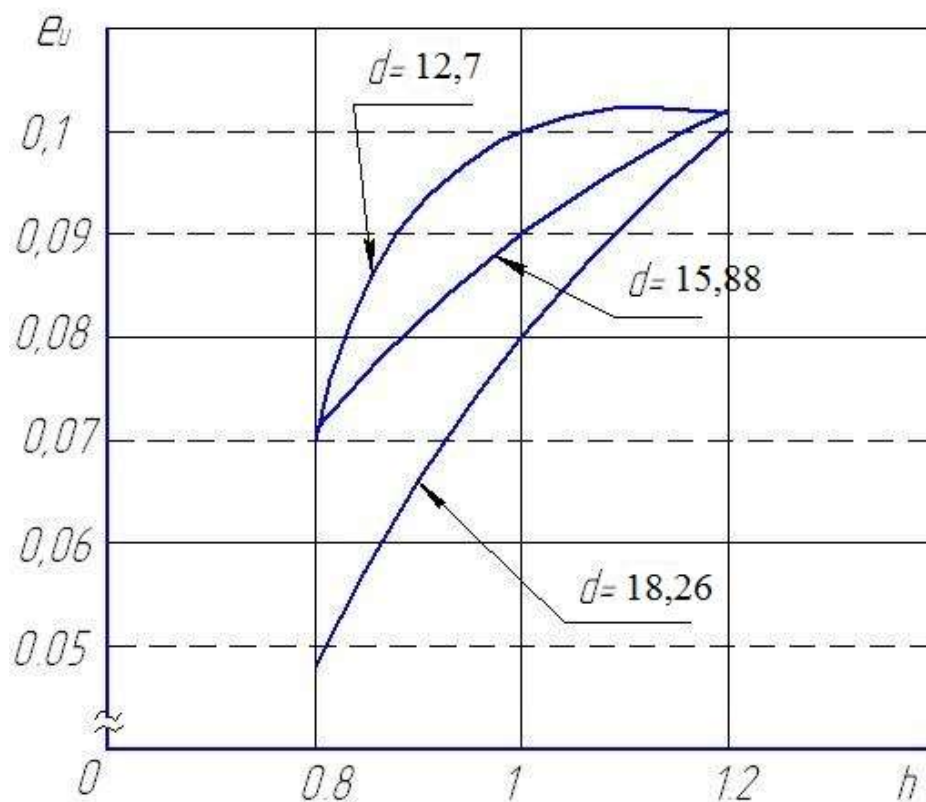


Рисунок 1.6 – Графік залежностей ступеня деформації від глибини вдавлювання кульки в плоску поверхню для різних діаметрів цієї кульки

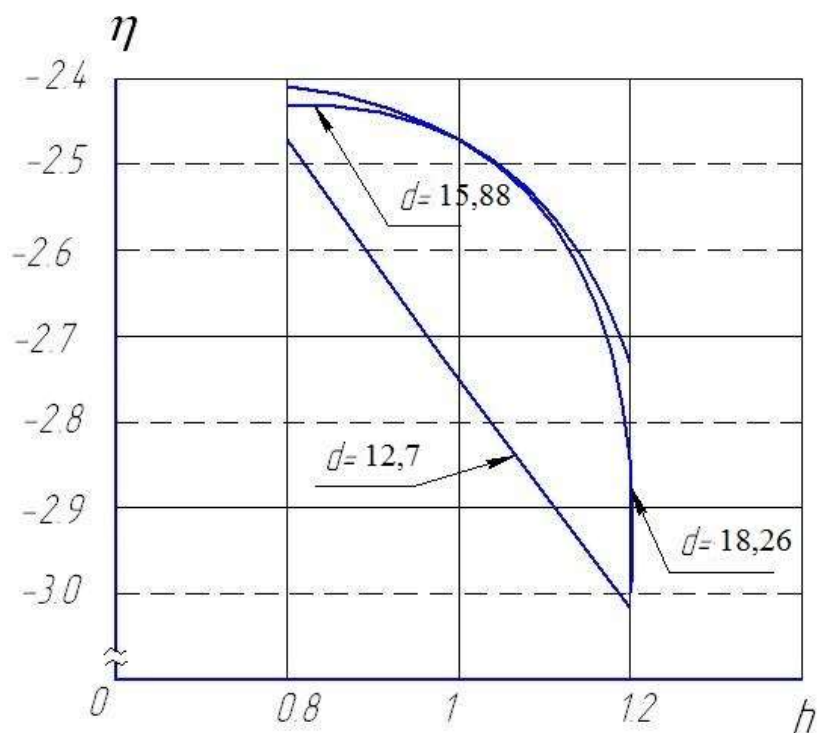


Рисунок 1.7 – Графік залежностей показника жорсткості від глибини вдавлювання кульки в циліндричну поверхню для різних діаметрів цієї кульки.

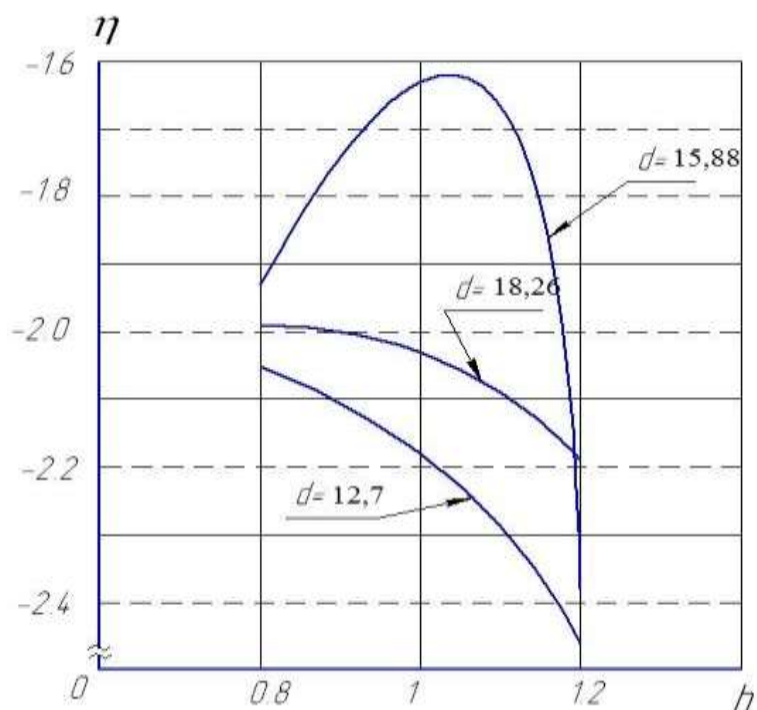


Рисунок 1.8 – Графік залежностей показника жорсткості від глибини вдавлювання кульки в плоску поверхню для різних діаметрів цієї кульки

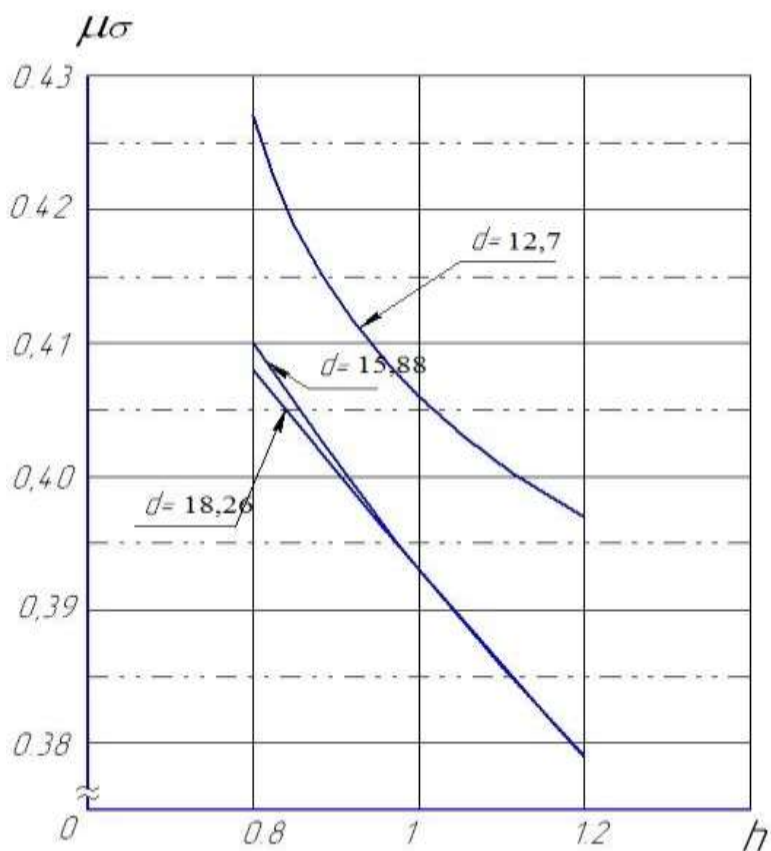


Рисунок 1.9 – Графік залежностей параметру Надаї-Лоде від глибини вдавлювання кульки в циліндричну поверхню для різних діаметрів цієї кульки

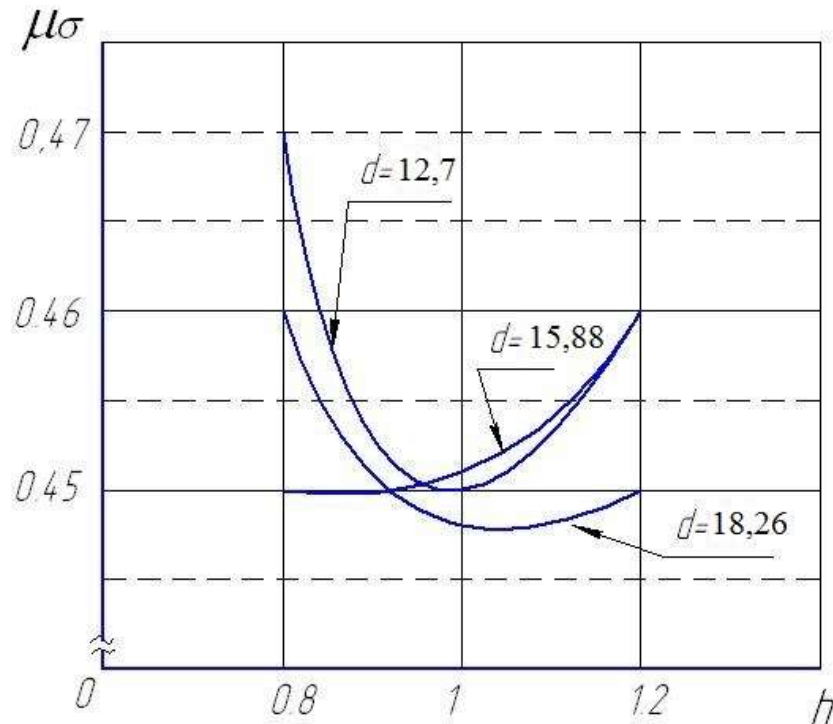


Рисунок 1.10 – Графік залежностей параметру Надаї-Лоде від глибини вдавлювання кульки в плоску поверхню для різних діаметрів цієї кульки

Із аналізу результатів, приведених на рисунках 1.1-1.10 випливає, що з ростом глибини вдавлювання схема напруженого стану в небезпечній, з точки зору пластичності, точці стає більш м'якою, тобто показник жорсткості зменшується, а параметр Надаї-Лоде збільшується з ростом ступеня деформації. Це свідчить про те, що інтенсивність накопичення пошкоджень в даній точці також зменшується. Тому при поверхневій пластичній деформації можна рекомендувати збільшення глибини вдавлювання при меншому числі повторень обкочування кулькою.

Аналізуючи залежності величин на графіку рисунків 1.3 і 1.4 бачимо, що для досліджуваного інтервалу глибин вдавлювання кульки до глибини 0,2 мм інтенсивність напруження зростає, що свідчить про зростання інтенсивності зміцнення з збільшенням глибини вдавлювання. Однак необхідно відмітити, що при вдавлюванні кульки діаметром 15,88 мм. має місце різне збільшення величини використаного ресурсу пластичності, хоча залежність інтенсивності

зміцнення глибин вдавлювання для трьох кульок практично однакова. Більш інтенсивне зміцнення має місце при вдавлюванні кульки максимального діаметра.

З графіків залежностей (рис. 1.5-1.6) випливає, що зростання накопиченої деформації в залежності від глибини вдавлювання кульки в циліндричну поверхню мало залежить від діаметра кульки, а при вдавлюванні в плоску поверхню ступінь деформації, при інших рівних умовах, зростає із ростом діаметра кульки.

Аналіз залежностей показника жорсткості від глибини вдавлювання, приведений на рисунку 1.7, показує, що показник жорсткості зменшується з ростом глибини вдавлювання: при цьому для кульок діаметром 12,7 мм і 15,88 мм. ці залежності майже співпадають, а для кульки максимального діаметра 18,26 мм – має практично лінійну залежність, яка значно відрізняється від значень попередніх діаметрів. На рисунку 2.8, де кулька вдавлюється в плоску поверхню характер залежності суттєво залежить від діаметра кульки. При діаметрі 12,7 мм. і 18,26мм. з ростом глибини вдавлювання показник жорсткості зменшується, а для кульки діаметром 15,88 мм цей показник має максимальне значення при глибині вдавлювання 1,02 мм. і потім різко спадає з подальшим вдавлюванням кульки в середовище.

Криволінійність поверхні, в яку вдавлюється кулька, впливає на параметр Надаї-Лоде, що спостерігаємо з рисунків 1.9 і 1.10. При вдавлюванні кульки в циліндричну поверхню, параметр спадає і мало відрізняється для діаметрів 12,7 мм і 15,88мм, а для діаметра 18,26 мм має максимальні результати. При вдавлюванні кульки в плоску поверхню, для кульок діаметрів 12,7мм і 18,26 мм значення параметру спочатку зменшується, а потім збільшується з ростом глибини вдавлювання. Для діаметра кульки 15,88мм параметр Надаї-Лоде збільшується з ростом глибини вдавлювання.

При відомих числових значеннях ступеня деформації, коефіцієнта жорсткості та параметра Надаї-Лоде, знаходимо величини використаного

ресурсу пластичності металу деталі при вдавлюванні в неї кульок різних діаметрів. Аналізуючи отриманий результат, який приведений в табл.1.2 та 1.1, можна визначити вплив геометричних характеристик інструмента на досліджуваний показник.

Аналізуючи характер накопичення деформації і пошкоджень в поверхневому шарі при обкатуванні, приходимо до висновку, що накопичення деформації відбувається вздовж всього осередку деформації, в той час як накопичення дефектів здебільшого на поза контактній поверхні хвилі. Цей результат дає відповідь на питання, чому руйнування поверхні при обкатуванні починається здебільшого в вершині хвилі. На фотографіях окремих зон осередку деформації можна було бачити, що зародження тріщини на поверхні відбувається до зустрічі з інструментом – на вершині хвилі. В цій зоні – найбільший приріст інтенсивності деформації зсуву і найменш сприятлива схема напруженого стану. Якщо до зустрічі із інструментом руйнування не наступило, то в результаті пом'якшення схеми напруженого стану і заліковування дефектів вірогідність виникнення руйнування під інструментом і за ним невелика.

Тріщини, що виникли в вершині хвилі в контактній зоні осередку деформації практично не збільшуються. При виході з осередку деформації внаслідок зміни знаку деформації відбувається деяке їх розкриття. Величина розкриття залежить від інтенсивності другорядної пластичної течії, яке в свою чергу залежить від силового режиму обробки, подачі і форми профіля робочої частини ролика.

2 РОЗРОБКА МАРШРУТУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

2.1 Аналіз технологічності конструкції деталі

Задана деталь – “Кришка”, виготовляється із ливарної сталі. Деталь має дуже точний отвір, який можна обробити розкочуванням. Це дозволить отримати шорсткість у вказаних межах та підвищити твердість поверхневого шару, що дозволить підвищити довговічність деталі.

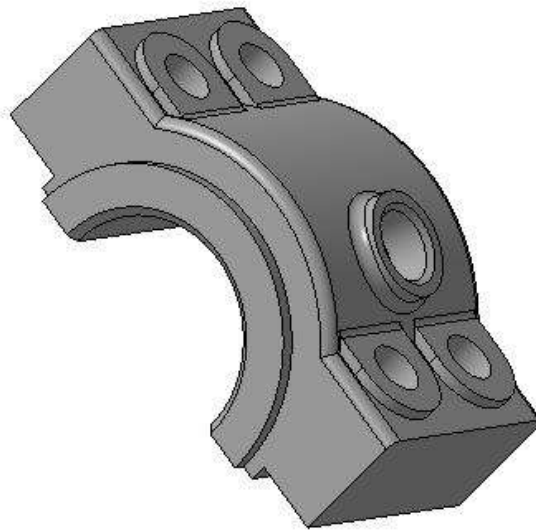


Рисунок 2.1 -3D-модель деталі

Аналіз робочого креслення деталі показав, що основними конструкторськими базами, що визначають розташування деталі в виробі є торець 25 та торці 22. Допоміжними конструкторськими базами є отвір $\varnothing 38H8$, що визначає положення валу, та отвір $\varnothing 6$ з різью M8-7H. Зовнішня поверхня R35 є вільною.

У відповідності до призначення поверхонь, до них ставляться такі вимоги: найбільш точними є основні та допоміжні конструкторські бази. До них ставиться вимога обробки по 8 квалітету з шорсткістю $R_a = 1,26$ мкм

Поставлені вимоги щодо взаємного розміщення поверхонь:

- перпендикулярність отворів $\varnothing 9$ до бази Б (площина);

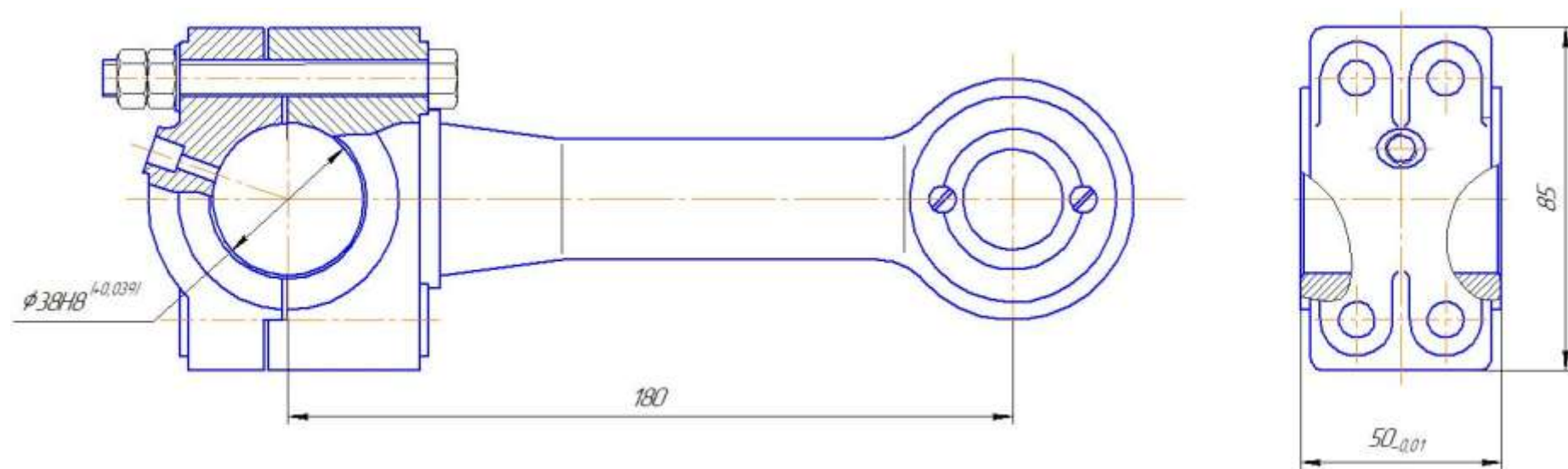


Рисунок 2.2 – Шатун

– перпендикулярність отворів $\varnothing 9$ до бази А (отвір $\varnothing 38H9$).

Деталь є складовою шатуна автомобіля ВА32107 (рисунок 2.2)

Квалітети точності та шорсткість оброблюваних поверхонь можуть бути забезпечені при застосуванні відповідних методів обробки та кількості переходів.

В якості заготовки приймаємо лиття в піщано-глинисті форми, що є значно економічно доцільніше, ніж лиття в оболонкові форми.

З точки зору механічної обробки деталь має наступні недоліки по технологічності: нетехнологічним є отвір з різьбою М8-7Н розташований під кутом. Крім того механічну обробку отвору $\varnothing 38H8$ та отворів $\varnothing 9H8$ необхідно проводити коли деталь зібрана з корпусом.

Таблиця 2.1– Загальна кількість уніфікованих розмірів

Р о з м і р и				Шорсткість
Лінійні	Діаметри	Різи	Кутові	
Рл	Рд	Рр	Рк	Ш
25*	$\varnothing 12^*$	М8*	45° (3шт)*	1,6 (2 шт)*
2*	$\varnothing 55^*$		20° *	3,2*
7	$\varnothing 10^*$			6,3*
1*	$\varnothing 9$ (4шт)*			
73	$\varnothing 38^*$			
60*	R3 (4 шт)*			
22 (2шт)*	R9 (4 шт)*			
50*	R4*			
60*	R35			
85*				
45*				
1,5 (2 шт)*				

Таблиця 2.2 – Загальна кількість уніфікованих розмірів

Розміри								Шорсткість	
Діаметральні		Кутові		Лінійні		Різи			
Р _д	Р _{ду}	Р _к	Р _{ку}	Р _л	Р _{лу}	Р _р	Р _{ру}	Ш	Ш _y
18	17	4	4	14	12	1	1	4	4

Тоді коефіцієнт уніфікації буде рівним:

$$K_{ye} = \frac{38}{41} = 0.927 > 0.6$$

умова виконується, отже деталь буде технологічною.

Відповідно із даними таблиці 1.3 середній квалітет деталі і коефіцієнт точності складають:

$$T_{CP} = 398/33 = 12.06$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{CP}} = 1 - \frac{1}{12,06} = 0.917 > 0,8$$

Таблиця 2.3 – Розрахунок коефіцієнта точності механічної обробки

Квалітет	Лінійні розміри	Кількість поверхонь	Розрахунки
8	Ø9H8; Ø50, 85, M8	8	8·8 = 64
10	60, 25,22	3	10·3 = 30
12	22,60	2	12·2 = 24
14	2,7,Ø12,1,Ø55,Ø10,73,45,R35,R3,R9,R4	20	14·20 = 280
Всього		33	398

$$Ш_{\text{CP}} = 375,2/33=11,369$$

$$K_{\text{ш}} = 1/11,369 = 0,087 < 0.32$$

Таблиця 2.4 – Розрахунок коефіцієнта шорсткості

Шорсткість	Кількість поверхонь	Розрахунки
Ra 1,6	2	$1,6 \cdot 2 = 3,2$
Ra 3,2	1	$3,2 \cdot 1 = 3,2$
Ra 6,3	1	$6,3 \cdot 1 = 6,3$
Ra 12,5	29	$12,5 \cdot 29 = 362,5$
Всього	33	375,2

В цілому деталь можна вважати технологічною, вона може бути виготовлена із зазначеними вимогами точності і з використанням високопродуктивних методів обробки.

2.2 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування методу одержання заготовки

Враховуючи, що виробництво дрібносерійно до розгляду прийнято два варіанти:

- лиття в піщано-глинисті форми з ручним формуванням;
- лиття в піщано-глинисті форми з машинним формуванням.

Всі розрахунки занесено до таблиць 1.5 та 1.6.

Товщина стінок визначається в залежності від габаритних розмірів деталі і в даному випадкові складає:

$$N = (2 \cdot 85 + 50 + 35) / 3 = 85 \text{ мм або } 0,85 \text{ м}$$

Таблиця 2.5– Розрахунок розмірів виливка при литті в піщано-глинисті форми з машинним формуванням

Параметри точності		Згідно ГОСТ 26645-85			Прийнято	
Клас розмірної точності		7-12			9	
Ступінь короблення		4-7			6	
Ступінь точності поверхні		10-17			14	
Шорсткість поверхні		Ra=40 мкм			Ra=40 мкм	
Клас точності маси		5-13т			9т	
Ряд припусків		5-8			7	
Допуски:	25±0,26	22±0,26	60	Ø38H8	50	73
Розмірів	1,6	1,6	2,0	1,8	2,0	1,8
Форми і розміщення елементів виливка	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Зміщення по площині роз'ємну в діаметральному виразі	-	-	1,4	1,4	1,4	1,4
Допуск зміщення, викликаний перекосом стержня				0,9		
Маси	12%					
Нерівностей поверхонь виливка	1,0					
Загальний допуск	1,6	1,6	2	2	2	2
Мінімальний припуск	0,8					
Загальний припуск	1,9	1,9	2,6	3,3	3,3	2,0
Кількість переходів	1	1	2	4	4	1
Розміри заготовки	28,8	25,8	65,2	Ø31,4	56,6	76,9

Таблиця 2.6– Розрахунок розмірів виливка при литті в піщано-глинисті форми з ручним формуванням

Параметри точності		Згідно ГОСТ 26645-85			Прийнято	
Клас розмірної точності		8-13т			11т	
Ступінь короблення		5-8			8	
Ступінь точності поверхні		12-19			16	
Шорсткість поверхні		Ra=63 мкм			Ra=63 мкм	
Клас точності маси		7т-14			11т	
Ряд припусків		7-10			8	
Допуски:	25±0,26	22±0,26	60	Ø38H8	50	73
Розмірів	2,4	2,4	3,2	2,8	3,2	2,8
Форми і розміщення елементів виливка	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
Зміщення по площині роз'ємну в діаметральному виразі	-	-	2,4	2,4	2,4	2,4
Допуск зміщення, викликаний перекосом стержня				1,2		
Маси	16%					
Нерівностей поверхонь виливка	1,6					
Загальний допуск	2,4	2,4	3,2	3,2	3,2	3,2
Мінімальний припуск	0,8					
Загальний припуск	2,5	2,5	4,0	4,8	4,8	2,9
Кількість переходів	1	1	2	4	4	1
Розміри заготовки	30	27	66,4	33,2	59,6	78,4

Відповідно мінімальна товщина стінок буде складати близько 2 мм. Формувальний нахил складає $0^{\circ}23'$. Радіуси заокруглень складають 3 мм при литті в оболонкові форми та 5 мм при литті в піщано-глинисті форми.

При литті в піщано-глинисті форми з машинним формуванням маса заготовки 0,88 кг (маса визначена за допомогою моделі заготовки створеної в графічному редакторі КОМПАС). Відповідно коефіцієнт використання матеріалу складає:

$$J = 0,6/0,88 = 0,681$$

При литті в піщано-глинисті форми з ручним формуванням маса заготовки складає 8,25 кг і коефіцієнт використання матеріалу відповідно:

$$J = 0,6/0,96 = 0,625$$

Значення коефіцієнта використання матеріалу є досить високим, так як заготовка виготовлена литтям в піщано-глинисті форми.

Собівартість заготовок при литті в піщано-глинисті форми з машинним формуванням

$$C_{\text{заг1}} = \left(\frac{15600}{1000} \cdot 0,88 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 0,52 \cdot 1,0 \cdot 1 \right) - (0,88 - 0,6) \frac{240}{1000} = 11,71 \text{ (грн.)}$$

При литті в піщано-глинисті форми з ручним формуванням

$$C_{\text{заг1}} = \left(\frac{15600}{1000} \cdot 0,96 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 0,52 \cdot 1,0 \cdot 1 \right) - (0,96 - 0,6) \frac{240}{1000} = 12,76 \text{ (грн.)}$$

Загальний економічний ефект не буде залежати від витрат на механічну обробку, так як кількість переходів механічної обробки при литті в піщано-

глинисті форми з машинним формуванням і при литті в піщано-глинисті форми з ручним формуванням однакова. Але оскільки собівартість лиття в піщано-глинисті форми з машинним формування нижча, то очевидно що даний спосіб отримання заготовки є економічно доцільніший.

2.3 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь

Визначимо кількість переходів для отвору $\varnothing 38h8$, враховуючи, що допуск точності відповідного розміру заготовки складає 1,8:

$$\varepsilon = 1,8 / 0,039 = 46,15$$

Отже можна проводити обробка за чотири переходи і призначаємо $\varepsilon_1 = 5,4$, $\varepsilon_2 = 3,6$. Відповідно тоді ступень уточнення другого переходу складатиме:

$$\varepsilon_3 = 46,15 / 5,4 \cdot 3,6 = 2,37$$

Допуск складатиме:

$$T_1 = 1,8 / 5,4 = 0,33 \text{ (мм)}$$

$$T_2 = 0,33 / 3,6 = 0,093 \text{ (мм)}$$

$$T_3 = 0,093 / 2,37 = 0,039 \text{ (мм)}$$

Остаточо приймаємо наступні переходи механічної обробки даної поверхні: розточування попереднє (13 квалітет точності); розточування попереднє (10 квалітет точності); розточування остаточне (8 квалітет точності)

2.4 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чистових та чорнових технологічних баз

При виборі чистових баз потрібно мінімізувати похибку базування на отримувані розміри. Відповідно за чистові бази запропонована схема базування на площину і два пальці, вона показана на рисунку 1.

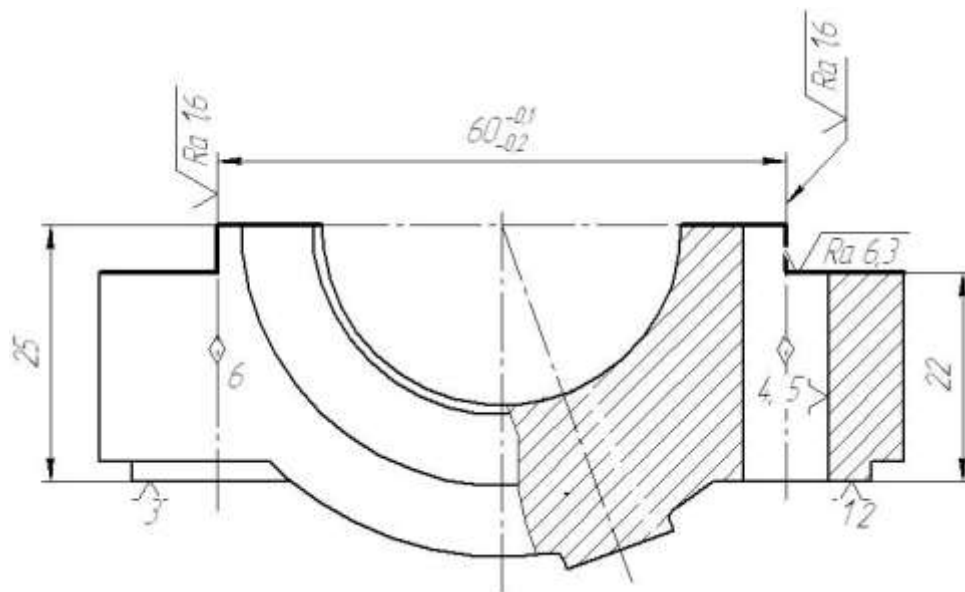


Рисунок 2.2 – Чистові технологічні бази (операція 010)

Таблиця 2.7 – Аналіз вибору технологічних баз на операції 010

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
Фрезерно-свердлильна	22	відсутня	Виконання принципу суміщення баз
	25	відсутня	Виконання принципу суміщення баз
	60	відсутня	Обробка з одного установа

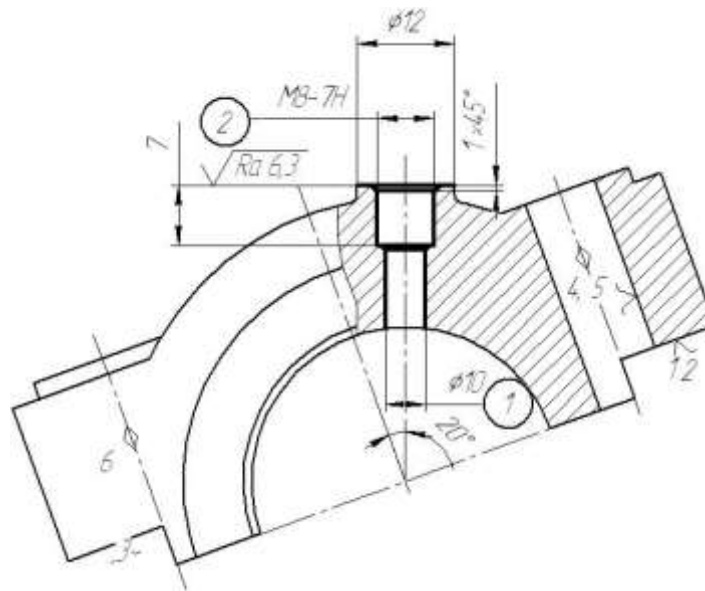


Рисунок 2.3 – Чистові технологічні бази (операція 015)

Таблиця 2.8 – Аналіз вибору технологічних баз на операції 015

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
Фрезерно-свердлильна	Ø10	відсутня	Діаметральний розмір
	M8-7H	відсутня	Діаметральний розмір
	7	відсутня	Обробка з одного установка

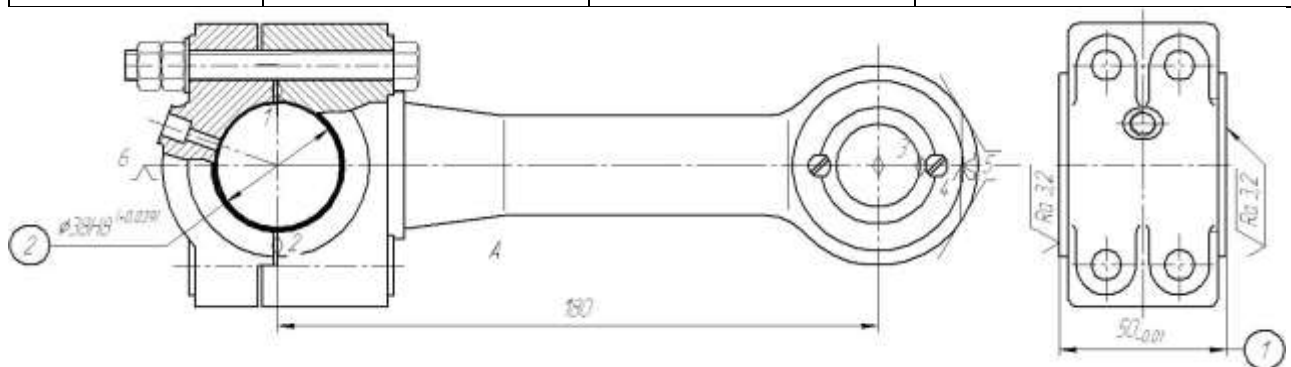


Рисунок 2.4– Чистові технологічні бази (операція 020)

Таблиця 2.9– Аналіз вибору технологічних баз на операції 020-025

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
Фрезерно-свердлильна	Ø38H8	відсутня	Діаметральний розмір
	50	відсутня	Виконання принципу суміщення баз

Тобто похибка базування на оброблювані розміри відсутня.

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.

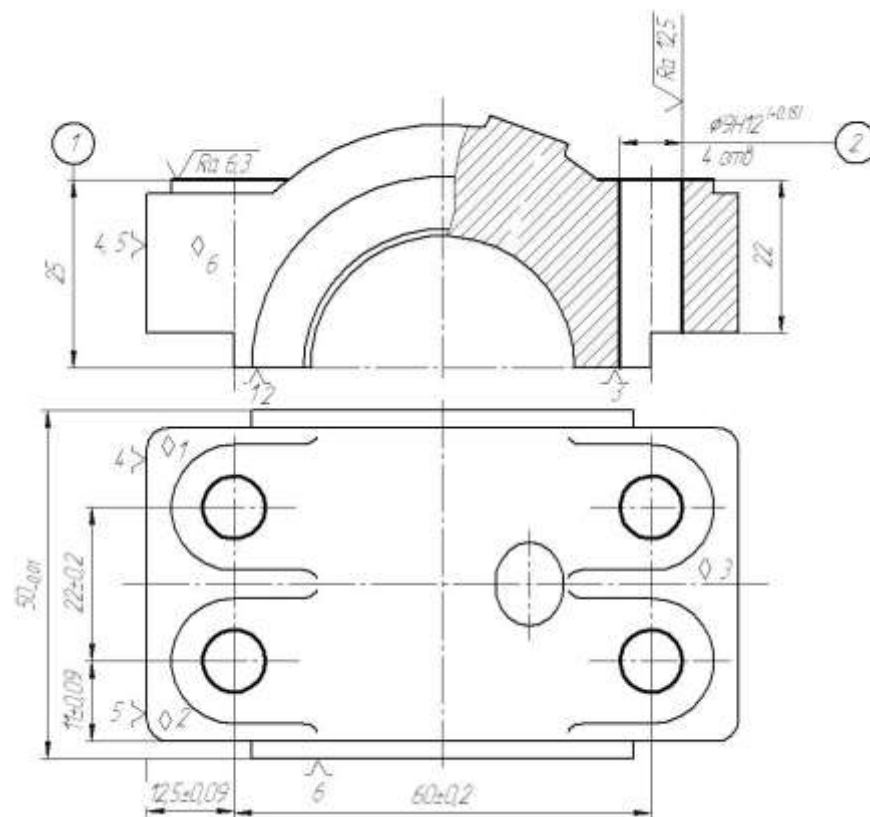


Рисунок 2.5– Чорнові технологічні бази

В якості чорнових технологічних баз можна використати схему базування

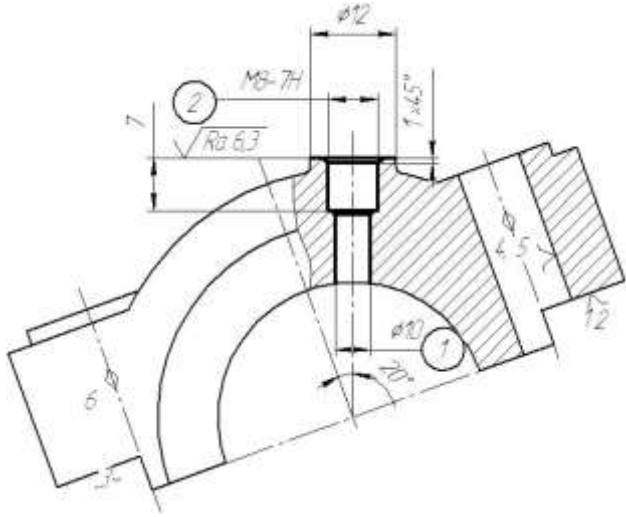
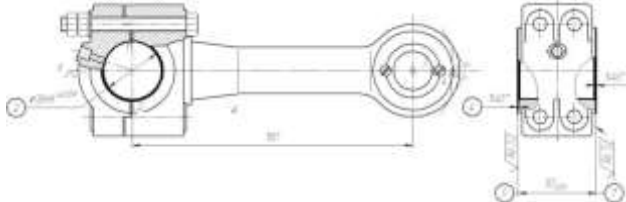
на площину, та два торці Це забезпечить зняття рівномірного мінімального припуску із площини, яка використовується в якості установчої бази.

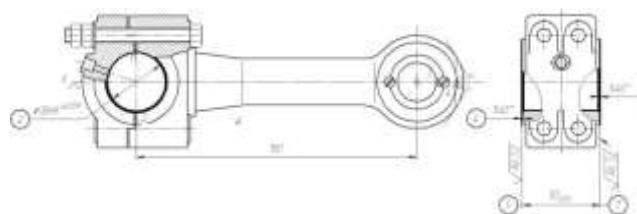
2.5 Розробка варіантів маршруту механічної обробки модернізованого технологічного процесу

Таблиця 2.10 – Маршрут механічної обробки (1-й варіант)

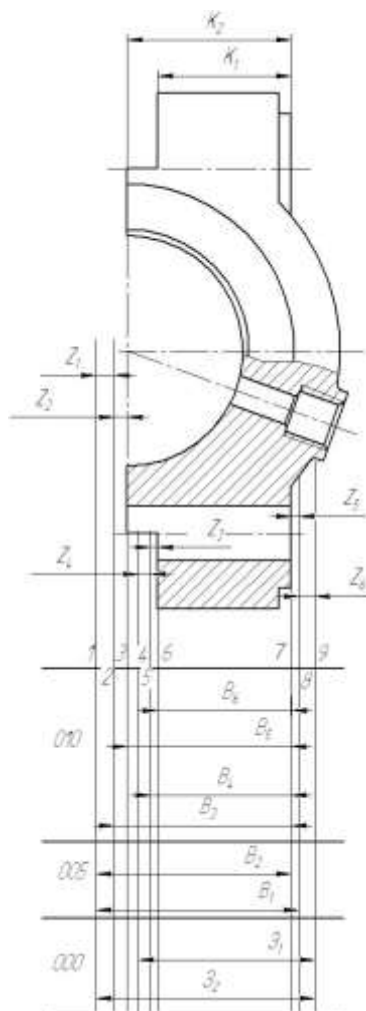
№	Зміст операцій та переходів	Ескіз та схема установки	Верстат
1	2	3	4
005	Комбінована 1 Встановити і закріпити 2 Фрезерувати площину ① попередньо 3 Фрезерувати площину ① остаточно 4 Центрувати 4 отвори ② 9 Свердлити 4 отвори ② 10 Розвернути 2 отвори ② 11 Зенкерувати 2 отвори ② 12 Зняти заготовку		Вертикальний свердильно-фрезерно-розточувальний ЛТ260МФ3
010	Фрезерна 1 Встановити та закріпити 2 Фрезерувати площини ① та ② попередньо		Вертикальний свердильно-фрезерний

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4
010	3 Фрезерувати площини ① та ② остаточно 4 Зняти деталь		
015	Вертикально-свердлильна з ЧПК 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Фрезерувати площину ③ 3 Центрувати отвір ① 4 Свердлити отвір ① 6 Розсвердлити отвір ① 7 Зенкувати фаску в отворі ② 8 Нарізати різь в отворі ② 9 Зняти деталь		Вертикальний свердлильний з ЧПК 2Р135Ф2
020	Фрезерно-свердлильна 1 Встановити і закріпити 2 Фрезерувати площину ①, повернути деталь та фрезерувати площину ⑤ 3 Розточити попередньо отвір ② 4 Розточити попередньо отвір ②		

020	5 Розточити фаску ④ 6 Фрезерувати тонко площину ⑤ 7 Повернути деталь та розточити фаску ③ 8 Обробити розкочуванням отвір ② 9 Фрезерувати тонко площину ① 10 Зняти деталь		Вертикальний свердильно-фрезерний ЛП260МФ3 з поворотним столом
-----	--	--	---

2.6 Розмірно-точностне моделювання технологічного процесу



Таблиця 2.11– Попередні допуски технологічних розмірів

Розмір	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	z_1	z_2
Допуск, мм	1,3	0,84	1,3	0,84	1,3	0,84	1,3	1,3

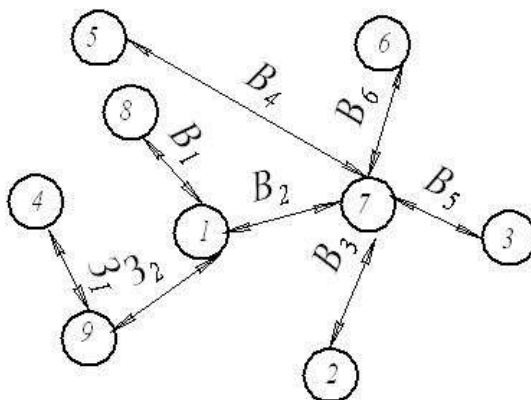


Рисунок 2.7– Вихідне граф-дерево

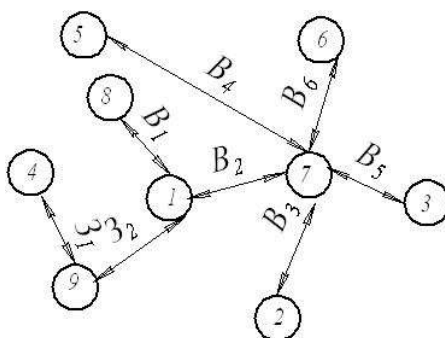


Рисунок 2.8– Похідне граф-дерево

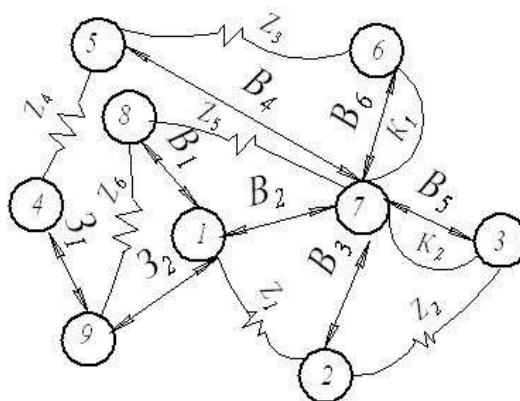


Рисунок 2.9 – Суміщений граф

Таблиця 2.12 – Рівняння технологічних розмірних ланцюгів

№	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що визначається
1	$-K_2+B_5=0$	$K_2=B_5$	B_5
2	$-K_1+B_6=0$	$K_1=B_6$	B_6
3	$-Z_3-K_1+B_4=0$	$Z_3=-K_1+B_4$	B_4
4	$-Z_2-K_2+B_3=0$	$Z_2=-K_2+B_3$	B_3
5	$-Z_1-B_3+B_2=0$	$Z_1=-B_3+B_2$	B_2
6	$-Z_5-B_2+B_1=0$	$Z_5=-B_2+B_1$	B_1
7	$-Z_6-B_1+Z_2=0$	$Z_6=-B_1+Z_2$	Z_2
8	$-Z_4-Z_6-Z_5-B_4+Z_1=0$	$Z_4=Z_1-Z_6-Z_5-B_4$	Z_1

Таблиця 2.13 - Мінімальні проміжні припуски на обробку плоских поверхонь

Отримуваний технологічний розмір	Спосіб обробки	Позначення припуску	Кількісне значення мінімального припуску, мм
B_2	Остаточне точіння	$Z_{2 \min}$	0,3
B_1	Попереднє точіння	$Z_{1 \min}$	0,6
B_4	Остаточне точіння	$Z_{3 \min}$	0,3
B_3	Попереднє точіння	$Z_{4 \min}$	0,6
B_6	Остаточне точіння	$Z_{5 \min}$	0,3
B_5	Попереднє точіння	$Z_{6 \min}$	0,6

Таблиця 2.14 – Технологічні розміри

Технологічний розмір	Розрахунок
1	2
B_5	$B_5=K_2=25\pm0,26\text{мм}$
B_6	$B_6=K_1=22\pm0,26 \text{ мм}$

Продовження таблиці 2.14

1	2
B_4	$Z_{3 \min} = B_{4 \min} - K_{1 \max}$ $B_{4 \min} = 22,26 + 0,3 = 22,56 \text{ мм};$ $B_{4 \max} = 22,56 + 0,84 = 23,4 \text{ мм.}$ $B_4 = 23,4_{-0,84}$ $Z_{3 \max} = 23,4 - 21,74 = 1,66 \text{ мм}$
B_3	$Z_{2 \min} = B_{3 \min} - K_{2 \max}$ $B_{3 \min} = 0,3 + 25,26 = 25,56 \text{ мм};$ $B_{3 \max} = 25,56 + 0,84 = 26,4 \text{ мм.}$ $B_3 = 26,4_{-0,84}$ $Z_{2 \max} = 26,4 - 24,74 = 1,66 \text{ мм}$
B_2	$Z_{1 \min} = B_{2 \min} - B_{3 \max}$ $B_{2 \min} = 26,4 + 0,6 = 27,0 \text{ мм};$ $B_{2 \max} = 27,0 + 0,84 = 27,84 \text{ мм.}$ $B_2 = 27,84_{-0,84}$ $Z_{1 \max} = 27,84 - 25,56 = 2,2 \text{ мм}$
B_1	$Z_{5 \min} = B_{1 \min} - B_{2 \max}$ $B_{1 \min} = 27,84 + 0,3 = 28,14 \text{ мм};$ $B_{1 \max} = 28,14 + 1,3 = 29,44 \text{ мм.}$ $B_2 = 29,44_{-1,3}$ $Z_{5 \max} = 29,44 - 27 = 2,44 \text{ мм}$
3_2	$Z_{6 \min} = 3_{2 \min} - B_{1 \max}$ $3_{2 \min} = 29,44 + 0,6 = 30,04 \text{ мм};$ $3_{2 \max} = 30,04 + 1,3 = 31,34 \text{ мм.}$ $3_2 = 31,34_{-1,3}$ $Z_{6 \max} = 31,34 - 27,14 = 4,2 \text{ мм}$
3_1	$Z_{4 \min} = -B_{4 \min} + Z_{5 \min} + Z_{6 \min} + 3_{1 \max}$ $3_{1 \min} = 0,6 + 22,56 - 0,6 - 0,3 = 22,26 \text{ мм};$

Продовження таблиці 2.14

1	2
z_1	$z_{1\min} = 22,26 + 1,3 = 23,56 \text{ мм.}$ $z_1 = 23,56 - 1,3$ $z_{4\max} = 22,26 - 23,4 + 2,44 + 4,2 = 5,5 \text{ мм}$

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.

2.7 Розрахунок проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні $\varnothing 38\text{H}8$

Визначення значень R_z і T проводимо відповідно до рекомендацій наведених в [14], враховуючи, що для заготовки дані параметри рівні 600 мкм. При попередньому розточуванні приймаємо $R_z = T = 50$ мкм, а на наступному переході відповідно 30 мкм, при чистовому розточуванні – $R_z = 20$ мкм, $T = 25$ мкм.

Сумарне значення просторових відхилень:

$$\rho_{\text{жол}} = \sqrt{(\Delta_{\kappa} d)^2 + (\Delta_{\kappa} l)^2} = \sqrt{(0,8 \cdot 38)^2 + (0,8 \cdot 50)^2} = 40 \text{ (мкм)}$$

де Δ_{κ} - питома кривизна заготовок, для литої заготовки складає 0,8;

$\rho_{\text{зм}}$ – відхилення за рахунок зміщення поверхні з якої знімається припуск, під час самої обробки, відносно технологічних баз, в даному випадкові розміру 10.

Для даної деталі відповідно сумарне значення просторових відхилень складатиме:

$$\rho = \sqrt{40^2 + 10^2} = 41,23 \text{ (мкм)}$$

Всі результати розрахунків просторових відхилень та похибки установа

занесено до таблиці 1.15. Мінімальний припуск:

$$2Z_{1\min}=2(600+\sqrt{41,23^2+200^2})=2\cdot554,2\text{ (мкм)}$$

$$2Z_{2\min}=2(50+50+\sqrt{2,5^2+10^2})=2\cdot110,3\text{ (мкм)}$$

$$2Z_{2\min}=2(30+30+0,09)=2\cdot60,1\text{ (мкм)}$$

При остаточному розточуванні маємо отримати розмір вказаний на кресленні:

$$d=38,039\text{ мм.}$$

Наступні розміри отримуємо послідовним відніманням розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу. Результати в таблиці 1.15.

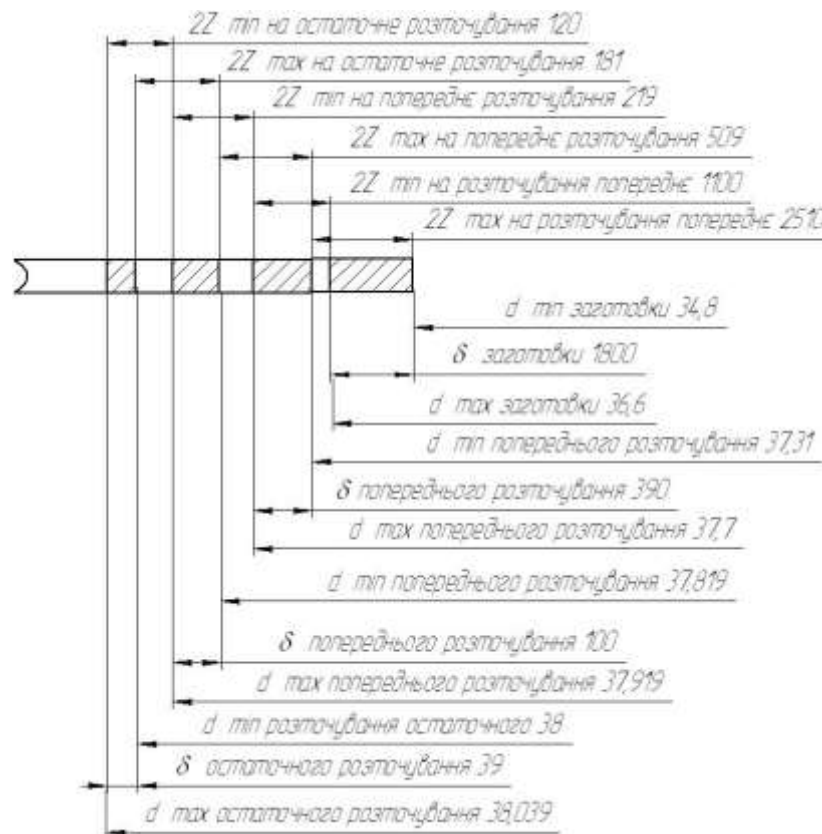


Рисунок 2.10– Схема графічного розташування припусків і допусків на обробку отвору Ø38

Таблиця 2.15 - Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічним переходам

Технологічні переходи обробки поверхні Ø38H8	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск, мкм 2Z _{min}	Розрахунковий розмір, мм d _p	Допуск мкм δ	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків	
	R _z	T	ρ	ε				d _{min}	d _{max}	2Z _{min}	2Z _{max}
Заготовка	600		41,2		-	36,5897	1,8	34,8	36,6	—	—
Розточування попереднє	50	50	2,47	200	2·554	37,6982	0,39	37,31	37,7	1,1	2,51
Розточування попереднє	30	30	0,09	10	2·110	37,9188	0,1	37,819	37,919	0,219	0,509
Розкочування	20	25	-	-	2·60	38,039	0,039	38	38,039	0,12	0,181
Загальний припуск										1,439	3,2

2.8 Призначення режимів різання

Згідно машинобудівних нормативів для верстатів з ЧПК визначено норми часу та режими різання. Результати занесено до таблиці 2.16 та 2.17.

Таблиця 2.16 - Режими різання

№ операції	Перехід	Глибина, мм	Прийнята подача, мм/об	Прийнята швидкість різання, м/хв	Частота обертання шпинделя, об/хв
005	Фрезерування площини	2	1,6	502	800
	Фрезерування площини	2	1,6	502	800
	Свердління 4 отворів	4,5	0,2	12,1	355
	Зенкерування 4 отворів	1	0,18	22,6	450
	Розвертання 4 отворів	0,1	0,2	17,2	500
010	Фрезерування площини	2	1,6	502	800
	Фрезерування площини	2	1,6	39,5	280
015	Фрезерування площини	2	1,6	502	800
	Свердління отворів	5	0,18	22,6	450
	Розсвердлювання отворів	2	0,2	26,7	355
	Зенкування фасок	1	0,18	22,6	450
	Нарізання різі	-	1,25	4,52	180
020	Фрезерування торцю	5	1,6	65,9	280
	Розточити отвір попередньо	0,4	0,421	113,1	189
	Розточити отвір попередньо	0,4	0,328	380,55	637
	Розкочування отвору	0,15	0,421	340	998

2.9 Розрахунок технічних норм часу

Норма штучного часу згідно [23] визначається за формулою:

$$T_{\text{ш}} = (T_{\text{ц.а.}} + T_{\text{в}}) \cdot \left(1 + \frac{a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{від}}}{100}\right) \quad (2.5)$$

де $T_{\text{ц.а.}}$ – час на цикл роботи за програмою, складається із двох складових:

$$T_{\text{ц.а.}} = T_{\text{о}} + T_{\text{мд}} \quad (2.6)$$

$T_{\text{о}}$ – основний час роботи верстата за програмою, $T_{\text{мд}}$ – машинно-допоміжний час.

Таблиця 2.17 - Основний час автоматичної роботи верстату для обробки отворів M10-7H

Перехід механічної обробки	Довжина оброблюваної поверхні, мм	Довжина підводу інструменту, мм	Довжина врізання інструменту, мм	Довжина перебігу інструменту, мм	Хвилинна подача, мм/хв	Основний час, хв
Центрування отвору Ø5	5	5	3	-	439,4	0,23
Свердління отвору Ø8,4	22	5	7,5	-	135,25	0,613
Зенкування фаски	1	5	3	-	234	0,30
Нарізання різі	11	5	18	-	62	0,438
Всього						2,581

Час автоматичної роботи верстата по програмі для операції 015 складатиме:

$$T_{ц.а.}=(0,25 \cdot 2+0,575 \cdot 4)+(0,13+0,1+0,05+0,05+0,13+0,12+0,55+0,05)=3,98(\text{хв.})$$

Допоміжний час складатиме:

$$T_{в.}=0,11+0,32+0,46=0,89 (\text{хв})$$

Отже норма штучного часу складатиме:

$$T_{ш.} = (0.89 + 2.58) \cdot (1 + \frac{9}{100}) = 3,77 (\text{хв.})$$

Для інших операцій розрахунки проводяться аналогічно, а норми часу занесено до таблиці 1.18.

Таблиця 2.18 – Норми часу

№ операції	Основний час, хв	Штучний час, хв
005	2,58	3,77
010	0,68	0,95
015	1,32	1,78
020	1,44	1,73

3 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ

3.1 Розрахунок зусилля закріплення

Найбільші сили різання, яким повинні протидіяти сили закріплення, можуть виникати при свердленні отвору Ø6.

Ріжучий інструмент – свердло спіральне Р6М5 ГОСТ 292-77;

Складаємо схему дії сил різання рисунку 5.3 .

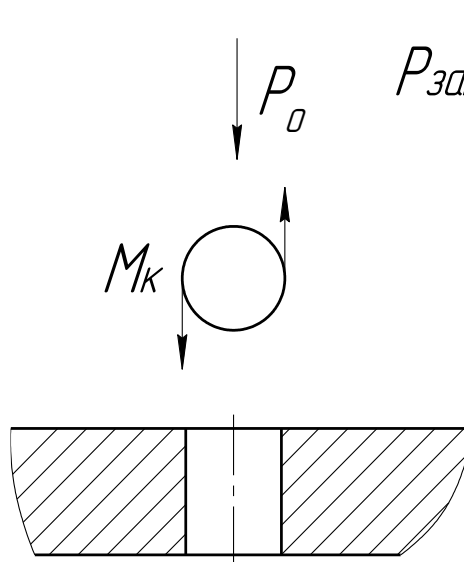


Рисунок 3.1 – Схема дії сил різання

Розраховуємо режими різання для свердлильної операції.

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^{m_s y}} K_v.$$

де C_v – коефіцієнт для визначення швидкості різання;

T – період стійкості інструменту;

m, q, y – показники степені для визначення швидкості різання;

$s = 0,5$ мм/об – подача при точінні;

$t = 1,4$ мм – глибина різання при точінні;

K_v – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання.

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv},$$

де K_{Mv} – коефіцієнт, який враховує якість обробки матеріалу і розраховується:

$$K_{Mv} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{500} \right)^{0,9} = 1,44,$$

$K_{\Gamma v}$ – коефіцієнт, який характеризує групу сталі за обробкою;

n_v – показник степені $K_{\Gamma v}$;

$K_{Пv}$ – коефіцієнт, який враховує якість поверхні заготовки, $K_{Пv}=1$;

$K_{Иv}$ – коефіцієнт, який враховує матеріал заготовки, $K_{Иv}=0,35$.

$$K_v = 1,44 \cdot 0,35 \cdot 0,8 = 0,5.$$

$$v = \frac{7 \cdot 10^{0,4}}{25^{0,2} \cdot 0,09^{0,7}} \cdot 0,5 = 23,71 \text{ м/хв.}$$

Поправочний коефіцієнт і показники степенів визначаємо із довідників:

Осьова сила при свердлінні:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^Y \cdot K_p = 10 \cdot 68 \cdot 10^1 \cdot 0,09^{0,7} \cdot 0,96 = 2453 \text{ Н.}$$

Осьова сила одно направлена з силам затиску і збільшує момент сил тертя заготовки між опорами і поверхнями деталі. Складаємо рівняння рівноваги дії моментів свердління; моментів сил тертя заготовки між опорами і елементами затиску.

Для того щоб визначити залежність між силою затиску оброблюваної деталі та моментом на рукоятці ексцентрика після закріплення деталі, розглянемо схему представлену на рисунку 5.2. При затиску оброблюваної деталі ексцентриком на нього діють три сили: сила N на рукоятці, сила реакції T від оброблюваної деталі та сила реакції S осі ексцентрика. Під дією цих сил ексцентриковий затиск знаходиться в рівновазі. Сила реакції T є рівнодіючою сили затиску W та сили тертя F . Сума моментів всіх сил які діють відносно осі повороту ексцентрика півні нулю:

$$N \cdot l - W \cdot e \cdot \sin \alpha' - W \cdot f (R + e \cos \alpha') - S \cdot \rho = 0,$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання між поверхнями ексцентрика та оброблюваної деталі.

Сила S приблизно рівна нормальній силі затиску W , тобто $S \approx W$.

Момент на рукоятці ексцентрика:

$$N \cdot l = W \cdot (R \cdot \sin \varphi + \rho \cdot \sin (\varphi + \alpha')).$$

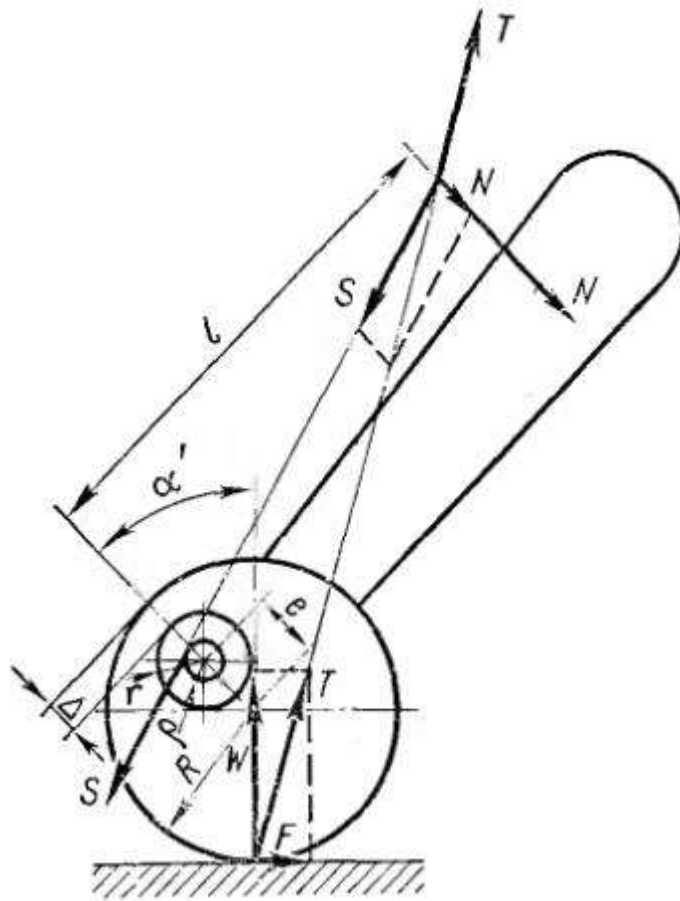


Рисунок 3.2 – Схема розрахунку сил

З виразу

$$R = (e - \rho) / \sin \varphi$$

визначаємо

$$e = R \cdot \sin \varphi + \rho$$

і підставивши в формулу отримаємо:

$$N \cdot l = W \cdot (e + \rho \cdot \sin (\varphi + \alpha')),$$

$$N \cdot l = W \cdot e (1 + \sin (\varphi + \alpha')),$$

$$W = \frac{Nl}{e(1 + \sin(\varphi + \alpha'))} = \frac{190 \cdot 0,2}{0,003(1 + \sin(6 + 20))} = 2950 \text{ Н.}$$

де l – відстань від точки прикладання сили на рукоятці до вісі ексцентрика,

e – ексцентриситет ексцентрика,

α' – кут повороту ексцентрика при затиску деталі,

φ – кут тертя.

3.2 Аналіз похибки установки заготовки в пристосуванні

Похибка установки – це відхилення фактично досягнутого положення заготовки або вибору від бажаного. За характером виявлення є випадковою

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_s^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_{np}^2} \quad (3.6)$$

Похибка базування – це відхилення фактично досягнутого положення заготовки при базуванні від заданого. Спричиняється недосконалістю схеми базування. З попередніх розрахунків $\varepsilon_{66} = 21 \text{ мкм.}$

Похибка закріплення - спричиняється силами закріплення. Шляхи зниження: зменшення коливань факторів, що впливають (Q , HV, Rz); направлення сили закріплення перпендикулярно до напрямку найбільш точних розмірів, що отримуються на даному установі. $\varepsilon_z = 28 \text{ мкм.}$

Похибка пристосування:

$$\varepsilon_{np} = \sqrt{\varepsilon_{yc}^2 + \varepsilon_b^2 + \varepsilon_{zn}^2} \quad (3.7)$$

де ε_{yc} – похибка, що спричиняється неточністю виготовлення і складання установчих елементів пристосування ($\varepsilon_{yc} = 0,005 \text{ мкм.}$)

ε_b - похибка, що спричиняється неточністю установки пристосування на верстаті ($\varepsilon_b = 0,01 \text{ мм.}$);

ε_n – похибка, що спричиняється зносом опор пристосування.

$$\epsilon_{\text{зн}} = \frac{N}{C_{\phi}} \quad (3.8)$$

де N – програма випуску деталей,

C_{ϕ} – фактична зносостійкість.

Визначаємо зносостійкість:

$$c = m - m_1 n_1 - m_2 n_2,$$

де m – коефіцієнти, які залежать від конструкції опор, їх матеріалу та інше:

$$m = 6832, m = 4287, m = 293750,$$

Π_1 – критерій зносостійкості, залежить від матеріалу заготовки і опор ($\Pi_1 = 0,94$),

Π_2 – критерії зносостійкості враховує навантаження на опори.

$$\Pi_2 = \frac{Q}{F \cdot H_v \cdot 10} \quad (3.9)$$

де Q – сила закріплення;

F – площа контакту опори і заготовки;

H_v – твердість опори по Вікерсу.

$$\Pi_2 = \frac{9986,9}{475 \cdot 400 \cdot 10} = 0,0017,$$

$$C_{\phi} = \frac{C}{K} \quad (3.10)$$

де K – коефіцієнт уточнення;

$$K = K_t K_l K_y \quad (3.11)$$

де K_t – враховує час безпосередньо контакту опори і заготовки,

$$K_t = 0,79 \cdot t_m = 0,79 \cdot 9,62 = 7,6.$$

$$C = 6832 - 4287 \cdot 0,94 - 29375 \cdot 0,0017 = 2215,2 \text{ установок / мкм},$$

K_l – враховує величину зсуву заготовки відносно опор, $K_l = 1,0$;

K_y – враховує умови установки заготовки в пристосуванні, $K_y = 1,12$;

$$K = 7,6 \cdot 1,12 \cdot 1,0 = 8,5.$$

Тоді

$$C_{\phi} = \frac{2215,2}{8,5} = 260,6 \text{ установок / мкм}$$

При $N = 5000$ шт,

$$\varepsilon_{\text{зн}} = \frac{5000}{260,6} = 26 \text{ мкм};$$

Величина допустимого зносу $[\varepsilon_{\text{зн}}] = \beta \sqrt{N_n}$

β - коефіцієнт ,який залежить від виду опори і стану технологічної бази, що контактує з цією опорою , $\beta = 1,2$;

N_n – кількість заготовок в партії;

Отже,

$$[\varepsilon_{\text{зн}}] = 1,2 \sqrt{500} = 32 \text{ мкм};$$

Таким чином

$$\varepsilon_{\text{зн}} = 26 \text{ мкм} < [\varepsilon_{\text{зн}}] = 32 \text{ мкм}.$$

Отже , установчі елементи при обробці партії деталей не потрібно замінювати, лише контролювати в процесі роботи :

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{0,005^2 + 0,01^2 + 0,011^2} = 0,016 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_y = \sqrt{0^2 + 28^2 + 16^2} = 27,5 \text{ мкм};$$

Повинна виконуватись нерівність

$$T_{15} \geq \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_B^2 + \varepsilon_{\text{зн}}^2 + (K_1 W)^2} \quad (3.12);$$

Згідно рекомендацій $K_{T2} = 0,6$; $W = 0,02$; $K_{T1} = 0,8$; $K_T = 1,0$.

$$\varepsilon_{\text{yc}} = T_{15} - K_T \sqrt{(K_{T1} \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_B^2 + \varepsilon_{\text{зн}}^2 + (K_{T2} \cdot W)^2} =$$

$$0,43 - 1 \sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0,028^2 + 0,01^2 + 0,011^2 + (0,6 \cdot 0,02)^2} = 0,0273$$

$$\varepsilon_{\text{yc}} = 0,027 \text{ мм}.$$

Таким чином точності пристосування достатньо, щоб отримати необхідні розміри.

3.3 Розробка конструктивної схеми пристосування

Відповідно до схеми базування в якості опорних елементів вибираємо стандартизовані пластини та два пальці (циліндричний та зрізаний). Оскільки ступінчастий отвір розташований під кутом до базової площини, а конструкція верстату 2P135Ф2 не дає можливості обробки отворів під кутом до базової площини, тому співвісність інструменту та оброблюваної поверхні забезпечується за рахунок кутового розташування плити з установчими елементами.

Для забезпечення рівномірності прикладення сили затиску її необхідно прикладати симетрично відносно опорних елементів, це реалізується використанням двох прихватів з узгодженим рухом. В якості затискного елемента використовується ексцентриковий механізм з важелем.

Монтується пристосування на столі верстата і кріпиться 2-ма болтами. Орієнтується 2-ма шпонками в пазах стола верстата.

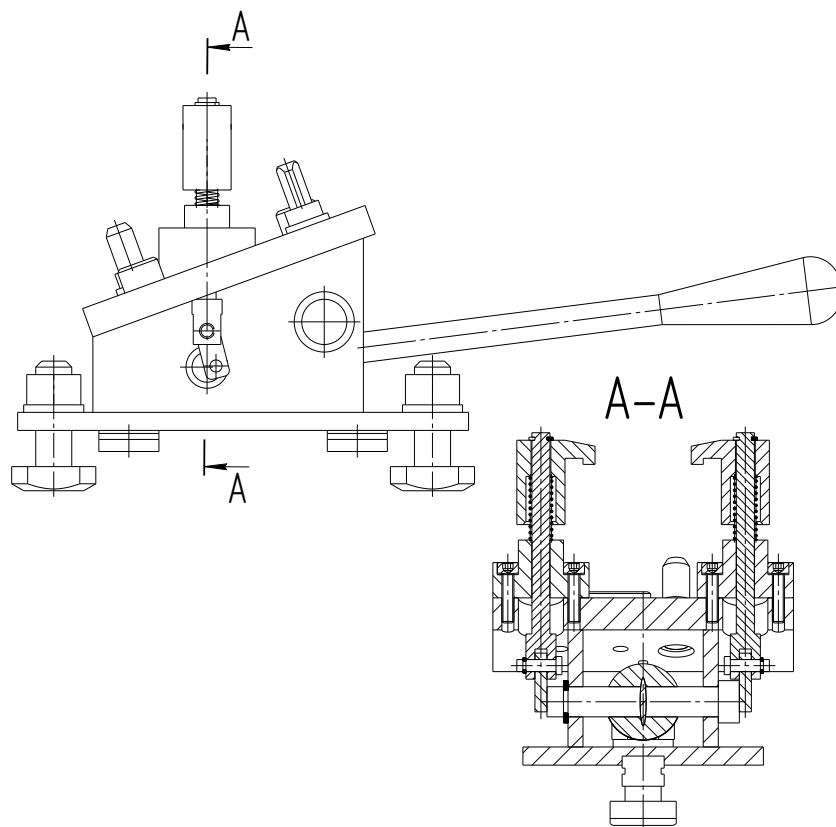


Рисунок 3.3 – Конструктивна схема

3.4 Силовий розрахунок пристосування

При силі затискання $W = 2960\text{Н}$ застосовуємо важіль довжиною 150 мм та ексцентрик з величиною ексцентриситету 3 мм.

Для забезпечення заданих точності й продуктивності обробки заготовок конструкція пристосування повинна бути надійна. Під надійністю розуміють властивість пристосування виконувати функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах проміж заданого проміжку часу або необхідного ресурсу.

Працездатність та надійність деталей характеризується відповідними критеріями. По одному або декількох критеріїв ведуть розрахунок, мета якого – визначення розмірів і матеріалів деталей пристосувань.

Найважливіші критерії – міцність, жорсткість, зносостійкість, вібростійкість.

До деталей, які не розраховуються відносять корпус, кронштейни, стійки, базові плити тощо, а також більшість стандартних складальних одиниць і деталей, підібраних відповідно до їх призначення і характеристик.

На міцність розраховуємо прихвати. Схеми розподілу навантажень наведено в додатках.

3.5 Розмірне моделювання та аналіз конструкції пристосування на точність

Похибка пристосування не повинна перевищувати допуски на розміри, які отримуються в процесі механічної обробки.

Деталі пристосування виконуються достатньо точними, щоб забезпечити інші розміри. Вибираємо розрахункові параметри, які визначають точність пристосування.

Вимога перпендикулярності установчої поверхні пристосування складає 0,3.

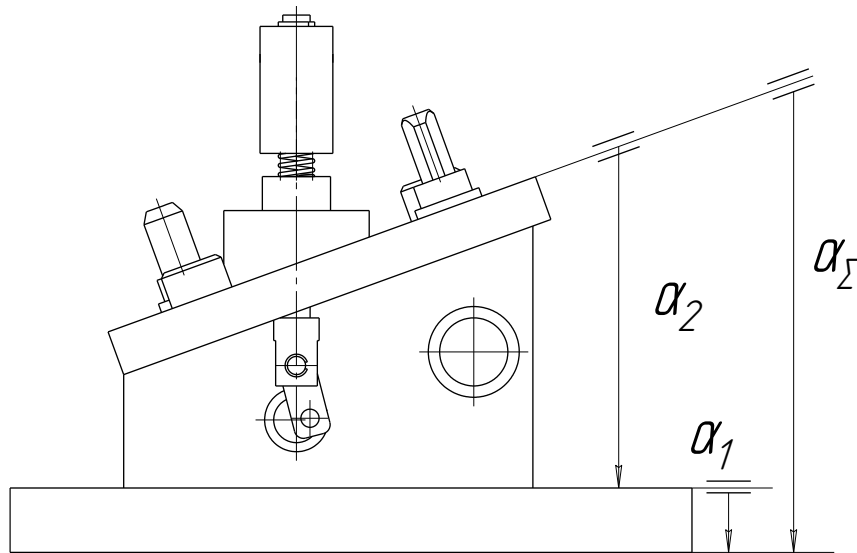


Рисунок 3.3 – Схема розмірного аналізу пристосування

Задаючи допуск замикаючої ланки (див. Рис. 6.1), розробленого розмірного ланцюга, призначаємо допуски на виготовлення деталей пристосування:

– для визначення непаралельності деталей виконуємо розрахунок кутового розмірного аналізу. Припускаємо, що економічно доцільні допуски непаралельності деталей відповідають шостій ступені точності.

$$T(\alpha_1) = \frac{0,013}{12,5};$$

$$T(\alpha_2) = \frac{0,013}{15};$$

$$T(\alpha_\Sigma) = \frac{0,021}{36};$$

Допуски ланок в кутовій мірі складають:

$$T_k(\alpha_1) = \arctg \frac{0,013}{12,5} = 0,05$$

$$T_k(\alpha_2) = \arctg \frac{0,013}{15} = 0,049$$

$$T_k(\alpha_\Sigma) = \arctg \frac{0,021}{36} = 0,033$$

$$\delta_k(\alpha_\Sigma) \leq 0,05 + 0,049 + 0,049 = 0,148$$

$$\delta_k(\alpha_\Sigma) \leq T_k(\alpha_\Sigma)$$

$$0,033 < 0,1$$

Умови по точності виконуються

Для забезпечення непаралельності рекомендується шліфувати опорну пластину в складі пристосування.

3.6 Технічні характеристики конструкції розробленого пристосування

Базовим вузлом пристосування є корпус, на якому монтуються механізм затиску та базові опорні елементи. Механізм затиску складається з ексцентрикового механізму та важеля. Після установки заготовки необхідно повернути прихвати в робоче положення, переміщуючи ручку в кутовому напрямі відбувається обертання ексцентрикового валу, що призводить до лінійного переміщення планки та важеля, який в свою чергу переміщує приват. В нижньому положенні ручка фіксується стопором.

Монтується пристосування на столі верстату і кріпиться 2-ма болтами з Т-подібними головками. Орієнтується пристосування двома шпонками 14h8 в пазах стола верстату.

Сумарне зусилля закріплення: 2960 Н;

Точність пристосування: 0,027 мм

.

4 ПРОЕКТУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

4.1 Розрахунок приведеної програми

При дрібносерійному типі виробництва використовується приведена програма при цьому велика номенклатура випуску деталей, тому вибирають представника і групують до нього подібні по конструкції і технології виробництва деталі. Всі деталі в групі приводять до представника з допомогою загального коефіцієнта приведення, що визначається за такою формулою:

$$K_{\text{пр}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (4.1)$$

де K_1 – коефіцієнт приведення по масі;

K_2 – коефіцієнт приведення по серійності;

K_3 – коефіцієнт приведення по складності.

$$K_1 = 3 \sqrt{\left(\frac{m_i}{m_{\text{пр}}}\right)^2} \quad (4.2)$$

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

Дані для розрахунку коефіцієнтів приведення наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Номенклатура деталей

Найменування деталі	Маса кг	Програм випуску, шт	Середній квалітет	Середня шорсткість R_a
Кришка	0,6	2500	12,16	11,36
Кришка 1	1	2400	13	12,1
Кришка 2	0,72	3100	13,5	12,5

Кришка 3	0,84	2100	10	9,8
Кришка 4	0,54	4600	11,6	10,2
Кришка 5	0,78	4200	12,3	11,2
Кришка 6	0,85	2800	13,7	12,7
Кришка 7	0,64	2400	13,4	12,4

Для деталі кришка 1 отримаємо:

$$K_{11} = \sqrt[3]{\left(\frac{1}{0.6}\right)^2} = 1.41$$

Коефіцієнт приведення по серійності:

$$K_2 = \left(\frac{N_{\text{пр}}}{N_i}\right)^\alpha \quad (4.3)$$

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:

$$K_{21} = \left(\frac{2500}{2400}\right)^{0.15} = 1,006$$

Коефіцієнт приведення по складності:

$$K_3 = \left(\frac{\bar{K}_{Ti}}{\bar{K}_{\text{т.пр.}}}\right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{\bar{R}_{ai}}{\bar{R}_{\text{а.пр.}}}\right)^{\alpha_2} \quad (4.4)$$

K_{Ti} , $K_{\text{т.пр.}}$ - середнє значення точності деталі і представника;

R_{ai} , $R_{\text{а.пр.}}$ - середнє значення шорсткості деталі і представника.

Таблиця 4.2 – Приведена програма виробництва

Найменування деталі	Коефіцієнт приведення по			Коефіцієнт приведення	K·N
	масі	точності	серійності		
Кришка	1	1	1	1	2500
Кришка 1	1,4	0,8	1,006	1,131	2716
Кришка 2	1,129	0,891	0,968	0,974	3020
Кришка 3	1,25	0,87	1,026	1,117	2347
Кришка 4	0,93	1,11	0,912	0,944	4344
Кришка 5	1,191	0,98	0,925	1,08	4536
Кришка 6	1,26	1,02	0,983	1,264	3542
Кришка 7	1,043	0,89	1,006	0,934	2244
Приведена програма			25249		

Для даної деталі коефіцієнт визначається:

$$K_{31} = \left(\frac{13}{12,16}\right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{12,1}{11,36}\right)^{\alpha_2} = 0,8$$

Коефіцієнт приведення для планки 1 складає:

$$K_1 = 1,405 \cdot 1,006 \cdot 0,8 = 1,131$$

Для інших деталей, що виготовлятимуться на ділянці аналогічним чином розраховується коефіцієнт приведення. Отримані результати занесено до таблиці 4.2

Отже при подальших розрахунках кількості обладнання, працівників та інших складових дільниці буде використовуватися приведена програма, тобто проектується дільниця, на якій вироблятиметься 8 подібних деталей. При цьому вся технологічна документація розробляється для деталі представника, оскільки інші деталі є подібні.

4.3 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

Кількість верстатів визначається за формулою:

$$C_p = T_{\text{пр}} / (\Phi_d \cdot m) \quad (4.5)$$

де $T_{\text{пр}}$ – сумарна трудомісткість обробки деталей за річною програмою, год;

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

m – кількість робочих змін

Враховуючи проведене раніше нормування часу розраховуємо сумарну трудомісткість деталей:

Отже кількість вертикальних багатоцільових верстатів для операцій з ЧПК 005 та 010 складає:

$$C_p = \frac{(4.72 + 1.78) \cdot 25249}{2040 \cdot 60} = 0.9736$$

Верстатів 2P135Ф2:

$$C_p = \frac{1.78 \cdot 25249}{2040 \cdot 60} = 0.367$$

Верстатів ЛТ260МФ3 з поворотним столом:

$$C_p = \frac{1.73 \cdot 25249}{2040 \cdot 60} = 0.3568$$

Приймаємо по одному верстату кожної моделі. Отримані результати занесено до таблиці 4.3

Таблиця 4.3 - Розрахунок кількості обладнання.

$N_{оп}$	Назва операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Коефіцієнт завантаження	Середній коефіцієнт	Коефіцієнт завантаження по основному часові.
005, 010	Комбінована з ЧПК	0,973	1	0,973	0,526	0,684
015	Вертикально- свердлильна з ЧПК	0,367	1	0,367		0,74
020	Багатоцільова	0,357	1	0,357		0,83

4.3 Визначення кількості працюючих на дільниці

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

$$P = C_{пр} \cdot \Phi_d \cdot K_3 / \Phi_v \cdot K_m \quad (5.6)$$

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

Φ_v – ефективний річний фонд роботи верстатника, год;

K_m – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування.

Наприклад для роботи на багатоцільових верстатах з ЧПК ЛТ260МФЗ необхідно:

$$P=1 \cdot 2040 \cdot 0,97 / 1 \cdot 1840 = 0,99$$

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 необхідний 1 робітник.

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

Згідно таблиці 5.3 сума всіх основних робочих - 3 чол.

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

$$P_{др} = (0,2 \dots 0,25) \cdot 3 = 0,6 \dots 0,75$$

Приймаємо 1 допоміжного робітника, але оскільки він не завантажений, то він має працювати ще і на іншій ділянці механічної обробки.

Таблиця 4.3 – Кількість робітників –верстатників

Назви верстатів	Прийнята кількість верстатів, $C_{пр}$	Φ_d , год	K_z	K_m	P , чол	$P_{пр}$, чол
Багатоцільовий з ЧПК	1	2040	0,973	1	0,97	1
Вертикальний свердлильний з ЧПК	1		0,367	1	0,407	1
Багатоцільовий з ЧПК з поворотним столом	1		0,357	1	0,395	1

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

$$P_{\text{ІТР}}=(0,18\dots0,24)\cdot3=0,54\dots0,72$$

Приймаємо 1 чол ІТР, але даний працівник має виконувати роботи і для іншої ділянки механічної обробки, оскільки на даній ділянці він не завантажений на повну ставку.

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

$$P_{\text{СКП}}=0,022\cdot3=0,066$$

Приймаємо 1 чол, але очевидно це буде працівник механічного цеху, який буде працювати на декількох ділянках механічної обробки.

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

$$P_{\text{МОП}}=0,02\cdot(3+1+1+1)=0,12$$

Приймаємо 1 чол молодшого обслуговуючого персоналу, оскільки він є не завантаженим, то він буде працювати і на інших ділянках механічної обробки.

Отримані дані занесемо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Відомість складу працюючих дільниці

Категорії працюючих	Спосіб визначення	Розрахункова кількість	Прийнята кількість
Основні робітники- верстатники			3
Допоміжні робітники	20...25%	0,6...0,75	1
ІТР	24...18%	0,54...0,72	1
СКП	2,2%	0,066	1
МОП	2%	0,12	1

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Деталь „Кришка” є складовою шатуна, що входить до складу кривошипно-шатунного механізму. В результаті використання запропонованої технології обробки із використанням сучасних методів поверхневої пластичної деформації отримується деталь, яка має значно більший термін роботи.

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 5.1.

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
1	2	3	4	5	6
Кри-терій	0	1	2	3	4
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

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6
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
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	Конкурентів 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. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6
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
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 значних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Писаренко В.Г.	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 $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{25 + 35 + 33}{3} = 31$		

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведено в таблицю за зразком таблиці 5.2.

Дана розробка має рівень комерційного потенціалу вище середнього.

5.2 Прогноз попиту на інноваційне рішення

Деталь «Кришка», 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 $P_n=80\%$;
- Середній термін заміни інноваційного продукту - 4 роки;
- Середній відсоток споживачів, що захочуть придбати розроблений товар повторно $C_n=80\%$.

Посилаючись на прогнозовані дані, розраховуємо наступні показники:

Потребу в інноваційному продукті:

$$P_i = P \cdot P_n / 100 [\text{шт}] \quad (5.1)$$

$$P_i = 60000 \cdot 80 / 100 = 48000 \text{ (шт.)}$$

Оптимістичний прогноз попиту на інноваційне рішення:

$$ОП=П_i/T[\text{шт}] \quad (5.2)$$

$$ОП=48000/4=12000 \text{ (шт.)}$$

Песимістичний прогноз попиту на інноваційне рішення:

$$ПП=ОП \cdot C_{\text{п}}/100 [\text{шт}] \quad (5.3)$$

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

Реалістичний прогноз попиту на інноваційне рішення:

$$РП=(ОП+ПП)/2 [\text{шт}] \quad (5.4)$$

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

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.

5.3 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.

5.4 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 5.4 – 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
Маса кришки	кг	0,6	0,6	1,0
Габарити кришки	мм	50x85x25	50x85x25	1
Наявність зміцненого поверхневого шару найбільш зношуваних поверхонь	-	-	наявне	1
Твердість поверхневого шару в отворі	НВ	220	260	1,18

Аналізуючи таблицю 3.5 можна зробити висновок, що нова розробка є кращою ніж аналог, вона дозволить автомобілям працювати довше без поломок і відповідно простоїв.

5.5 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.

Серед ринкових методів ціноутворення з орієнтацією на конкурентів обираємо метод рівноважної ціни, сутність якого полягає у встановленні цін з врахуванням витрат, попиту і конкуренції.

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.

5.6 Оцінка рівня якості інноваційного рішення

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 - коефіцієнт вагомості відповідного параметра.

Таблиця 5.5 – 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%

$$K_{ap}=9\cdot0,2+9\cdot0,3+6\cdot0,2+8\cdot0,3=8,1$$

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

Таблиця 5.6 – 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%.

5.7 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:

$$I_{\text{еп}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{неі}}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{бей}}}$$

P_{bei} P_{nei} - економічні параметри відповідно базового та нового товарів.

$$I_{ep} = 2400/4000 = 0,6$$

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

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

5.8 Прогнозування витрат на виконання роботи

Розрахунок основної заробітної плати розробників.

Основна заробітна плата розробників, яка розраховується за формулою :

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ [грн.]}, \quad (5.7)$$

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.

Результати розрахунків зведено до таблиці 3.3.

Таблиця 5.3 – 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	25000	227,27	16	13636,4
2	Інженер-технолог	14250	193,18	16	13090,9
Всього					26727,3

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

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c \text{ [грн.]}, \quad (5.6)$$

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:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot T_{зм}} \left[\frac{\text{грн.}}{\text{год}} \right], \quad (5.7)$$

де: M_m – мінімальна місячна оплата праці, грн. $M_m = 8000$ 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.

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:

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

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

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

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,

Для багатоцільового верстата складає 0,211 год для однієї деталі, відповідно (з врахуванням 8-годинного робочого дня і в середньому 30 днів у місяці):

$$0,211 \cdot 10800 / (8 \cdot 30) = 9,5 \text{ місяців}$$

Для вертикально свердлильного верстата аналогічно:

$$0,108 \cdot 10800 / (8 \cdot 30) = 4,9 \text{ місяця}$$

$T_{нв}$ – нормативний термін використання обладнання, 12 років

Таблиця 5.4 – Амортизаційні відрахування

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Термін корисного використання, років	Термін використання обладнання місяців	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
Багатоцільовий верстат з ЧПК ЛТ260МФ3	700 000	12	9,5	46181
Вертикально-свердлильний з ЧПК 2Р135Ф3	360 000	12	4,9	12250
Всього				58431

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

$$M = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_{i=1}^n B_i \cdot C_b \text{ [грн.]}, \quad (5.8)$$

де: H_i – витрати матеріалу i -го найменування, 4,09 кг, C_i – вартість матеріалу i -го найменування, 16 грн./кг., K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,1$. B_i – маса відходів i -го найменування, 2,41 кг, C_b – ціна відходів i -го найменування, 3 грн./кг. n – кількість видів матеріалів.

Таблиця 5.5 - Витрати на матеріал

Найменування матеріалу	Ціна за 1 кг., грн.	Витрачено, кг.	Величина відходів, кг	Ціна відходів грн./кг.	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Сталь45Л	16	4,09	2,41	3	19,89
Всього					19,89

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

$$M = 1,68 \cdot 16 \cdot 1,1 - 2,41 \cdot 3 = 19,89 \text{ (грн.)}.$$

А для всієї партії:

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

Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$V_e = V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi} \text{ [грн.]}, \quad (5.9)$$

де: V – вартість 1 кВт-години електроенергії. $V = 1,83 \text{ грн./кВт.}$

Π – 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 5.6 – Таблиця витрат на силову електроенергію

Обладнання	Встановлена потужність, кВт	Фактична кількість годин роботи	Сума, грн
Багатоцільовий верстат з ЧПК ЛТ260МФ3	12	0,211	3,71
Вертикально- свердлильний з ЧПК 2Р135Ф3	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:

$$B_{in}=(1\dots3) (3_o+3_p) \quad (5.10)$$

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

Усі витрати складають:

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

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

$$B_{заг} = \frac{B}{\alpha} \quad (5.11)$$

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

Тоді

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

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

$$3B=B_{заг}/\beta \quad (5.12)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи. Так, якщо розробка знаходиться: на стадії науково-дослідних робіт, то $\beta \approx 0,1$; на стадії технічного проектування, то $\beta \approx 0,2$; на стадії розробки конструкторської документації, то $\beta \approx 0,3$; на стадії розробки технологій, то $\beta \approx 0,4$; на стадії розробки дослідного зразка, то $\beta \approx 0,5$; на стадії розробки промислового зразка, $\beta \approx 0,7$; на стадії впровадження, то $\beta \approx 0,8-0,9$.

Для нашого випадку $\beta \approx 0,5$.

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.

5.9 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. Реалізовуємо 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 2025 року, а її результати будуть виявлятися протягом 2025-го, 2026-го, 2027-го та 2028-го років.

Прогноз зростання попиту на нашу розробку складає по роках:

- 1-й рік після впровадження (2025 р.) – приблизно 3500 шт.;
- 2-й рік після впровадження (2026 р.) – приблизно 3400 шт.;
- 3-й рік після впровадження (2027 р.) – приблизно 2100 шт.;
- 4-й рік після впровадження (2028 р.) – приблизно 1800 шт.

У 2029 р. ми не плануємо отримання прибутків для потенційних інвесторів, оскільки високою є ймовірність, що з'являться нові, більш якісні розробки.

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

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n \Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - g/100) \quad (5.13)$$

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

Π_o – основний оціночний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році після впровадження результатів розробки, грн.; $\Pi_o = 4000$ 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 λ 0,8333;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту.

Рекомендується приймати 0,2...0,3; візьмемо $\rho = 0,25$;

g – ставка податку на прибуток. У 2025 році $g = 18\%$.

Тоді, збільшення чистого прибутку для потенційного інвестора $\Delta\Pi_1$ протягом першого року від реалізації нашої розробки (2025 р.) складе:

$$\Delta\Pi_1 = (3500 \cdot 1600) \cdot 0.8333 \cdot 0.25 \cdot (1 - 18/100) = 1377655 (\text{грн.})$$

$$\Delta\Pi_2 = (3400 \cdot 16000) \cdot 0.8333 \cdot 0.25 \cdot (1 - 18/100) = 1338294 (\text{грн.})$$

$$\Delta\Pi_3 = (2100 \cdot 1600) \cdot 0.8333 \cdot 0.25 \cdot (1 - 18/100) = 8265931 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\Pi_4 = (1800 \cdot 1600) \cdot 0.8333 \cdot 0.25 \cdot (1 - 18/100) = 7085083 \text{ (грн.)}$$

3.10 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування нашої розробки потенційним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених в розробку інвестицій та термін їх окупності.

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

$$E_{\text{абс}} = \text{ПП} - \text{PV}, \quad (5.14)$$

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

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

$$\text{ПП} = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^i} \quad (5.15)$$

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

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

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні.

Для України приймемо, що $\tau = 0,10$ (або 10%);

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

Якщо $E_{\text{абс}} \leq 0$, то результат від впровадження нашої розробки буде збитковим і

вкладати кошти в розробку ніхто не буде. Якщо $E_{abc} > 0$, то результат від впровадження нашої розробки принесе прибуток і вкладати кошти в дану розробку в принципі можна.

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

$$ПП = \frac{1377655}{(1+0.1)^2} + \frac{1338294}{(1+0.1)^3} + \frac{8265931}{(1+0.1)^4} + \frac{7085083}{(1+0.1)^5} = 4170647 \text{ (тис. грн.)}$$

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

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

Оскільки $E_{abc} > 0$, 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:

$$E_B = \sqrt[T_{ж}]{1 + E_{abc} / PV} - 1 \quad (5.16)$$

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

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

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

Для нашого випадку:

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

Далі визначимо ту мінімальну дохідність, нижче за яку кошти в розробку нашого проекту вкладатися не будуть.

У загальному вигляді мінімальна дохідність або мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування $\tau_{\min}$ визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (5.17)$$

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

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

$$\tau_{\min} = 0,25 + 0,10 = 0,35 \text{ або } \tau_{\min} = 35\%.$$

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

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

$$T_{\text{ок}} = 1/E_B$$

$$T_{\text{ок}} = 1/0,36 = 2,78$$

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

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 (2,78 роки). За результатами всіх розрахунків було виявлено доцільність проведення даної наукової-дослідної роботи оскільки вона є економічно виправданою.

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 виробництва на базі верстатів з ЧПК.

Отже, в результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи розроблено модернізований технологічний процес механічної обробки деталі «Кришка», який дозволяє знизити собівартість, енерговитрати та трудомісткість механічної обробки, та підвищити продуктивність праці. Згідно розрахунку тип виробництва –серійний. Деталь не містить важкодоступних для обробки місць. В результаті аналізу і виконаних розрахунків в якості заготовки обрано виливок в піщано-глинисті форми з машинним формуванням суміші. Визначивши кількість ступенів механічної обробки для кожної поверхні, та обравши технологічні бази спроектовано технологічний процес механічної обробки. При цьому технологічні розміри визначені за допомогою розмірного аналізу. Розраховано режими різання і норми часу на всі переходи та операції відповідно. Крім того виконано попереднє проектування ділянки механічної обробки. Визначено приведену програму та згідно неї кількість верстатів – 3, що дозволяють обробити задану програму випуску. Верстати завантажені, середній коефіцієнт завантаження верстатів складає 53%.

Для фінішної обробки поверхонь валу запропоновано обрати спосіб розкочування, що вимагає дослідження даного способу в умовах обробки заданої деталі. Наведено залежності параметрів якості оброблюваної поверхні від конструктивних параметрів обкатника і технологічних параметрів процесу. Обрано режими обробки, які дозволяють отримати необхідну твердість поверхневого шару та шорсткість при задовільному використаному ресурсі пластичності. Розроблено модель для визначення напружено-деформованого стану в поверхневому шарі деталі. Методом скінченних елементів розв'язана задача вдавлювання кульки з різною кривизною робочої поверхні в деталі різних радіусів кривизни. Результати

розрахунків напружено-деформованого стану використані для визначення залежності інтенсивності напружень σ_u , накопиченої пластичної деформації e_u , показників напруженого стану η і μ_σ від діаметра кульки, діаметра ролика та радіуса його робочої поверхні та глибини вдавлювання для деталей з плоскою та криволінійною поверхнею.

Рівень комерційного потенціалу нової розробки високий. Розраховані показники абсолютної та відносної ефективності свідчать, що даний інвестиційний проект може зацікавити інвестора, оскільки рівень доходності даного проекту перевищує депозитні доходи і є менш ризикованим. Термін окупності розробленого проекту складає 2,78 років.

Таким чином, проведені в економічній частині розрахунки свідчать про доцільність розробки способу суміщеної обробки та перспективність виходу нового пристосування на вітчизняний ринок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Коцюбівська К.І. Напружено-деформований стан та деформуємість заготовок при поперечному видавлюванні з протитиском / Коцюбівська К.І. , Буренніков Ю.А., Сивак І.О.// збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Вип. 4. – 2010. – С.55-58
- 2 Сивак І.О. Зміцнення поверхневого шару металу у разі вдавлювання кульки / Сивак І.О., Ярошенко Т.В. // Вісник ВПІ. – №4(91).– 2010. – С.54-58.
- 3 Прикладна механіка». Матеріали XVI Міжнародної науково-методичної конференції «Сучасна освіта - доступність, якість, визнання», 13–14 листопада 2024 р. Краматорськ-Вінниця-Тернопіль, Краматорськ : ДДМА, 2024. С. 247-252.
- 4 Дерібо О. В. Досвід викладання спеціальних дисциплін технологічного спрямування на основі комплексного підходу у навчанні студентів бакалаврату спеціальності 131 – Прикладна механіка [Електронний ресурс] / О. В. Дерібо, С. В. Репінський, О. В. Сердюк // Матеріали LI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 31 травня 2022 р. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2022/paper/view/16151>
- 5 Сердюк О. В. Вплив технологічних параметрів на шорсткість поверхні при суміщеній обробці [Електронний ресурс] / О. В. Сердюк, Б. І. Олексюк, О. А. Корчинський // Матеріали LI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 31 травня 2022 р. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2022/paper/view/16082>
- 6 Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування :навчальний по-сібник / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.
- 7 Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : навчальний посібник / О. В. Дерібо. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 116 с.
- 7 Дерібо О. В. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання / Дерібо О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В. — Вінниця : ВНТУ, 2023. — 116 с. Елек-тронний ресурс:

- 8 https://iq.vntu.edu.ua/method/getfile.php?fname=5927.pdf&card_id=1949&id=5927
- 9 Мельничук П. П. Технологія машинобудування: підручник / П. П. Мельничук, А. І. Боровик, П. А. Лінчевський, Ю. В. Петраков.- Житомир: ЖДТУ, 2005.- 882с.
- 10 Якимов О. В., Гусарев В. С., Якимов О. О., Лінчевський П. А. Технологія автома-тизованого машинобудування. – К. 1994. – 400 с
- 11 Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. / П. О. Руденко. — К.: Вища школа, 1993. — 414 с.
- 12 Дусанюк Ж. П. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заго-товки : навчальний посібник / [Дусанюк Ж. П., Шиліна О. П., Репінський С. В. та ін.]. — Вінниця : ВНТУ, 2009. — 199 с.
- 13 Дусанюк Ж. П. Проектування та виробництво заготовок деталей машин / Ж. П. Ду-санюк, С. В. Дусанюк. — Вінниця : ВНТУ, 2004. — 90 с.
- 14 Дусанюк Ж. П. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заго-товки: навчальний посібник / [Ж. П.Дусанюк, О. П. Шиліна, С. В. Репінський та ін.]. — Вінниця : ВНТУ, 2009. — 199 с.
- 15 Кирилович В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ. / В. А.Кирилович, П. П, Мельничук, В. А. Яновський ; під заг. ред. В. А. Кириловича. — Житомир : ЖІТІ, 2001. — 600 с.
16. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Гаряче об'ємне штампу-вання / [Дусанюк Ж. П., Сивак І. О, Дусанюк С. В., Репінський С. В.]. — Вінниця : ВНТУ, 2006. — 105 с.
- 17 Руденко П. О. Вибір, проектування і виробництво заготовок деталей машин. / Ру-денко П. О., Харламов Ю. О., Шустик О. Г. — К. : ІСДО, 1993. — 304 с.
- 18 Кирилович В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ. / В. А.Кирилович, П. П, Мельничук, В. А. Яновський ; під заг. ред. В. А. Кири-ловича. — Житомир : ЖІТІ, 2001. — 600 с.
- 19 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.

20 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.

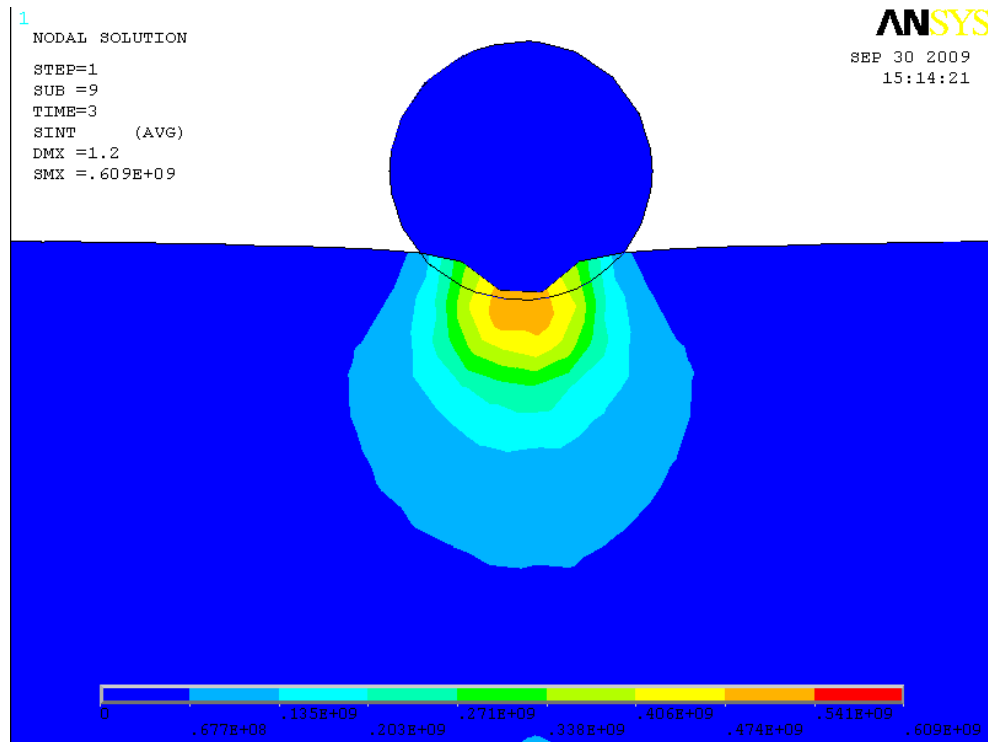
Додатки

Керівник роботи _____ (підпис) _____ (прізвище, ініціали)

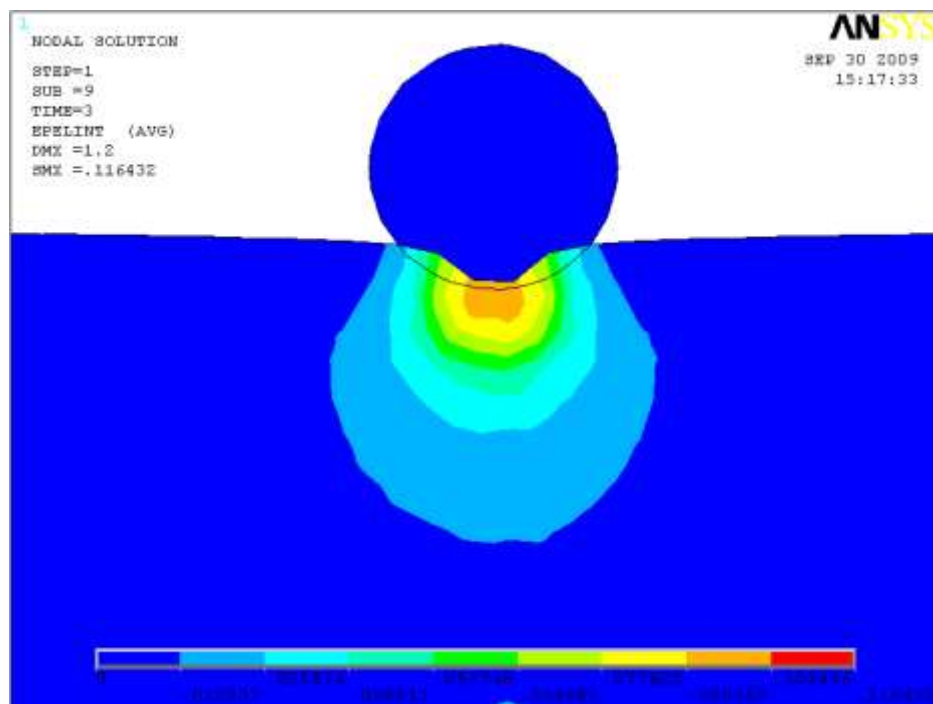
Додаток Б

Графічна частина

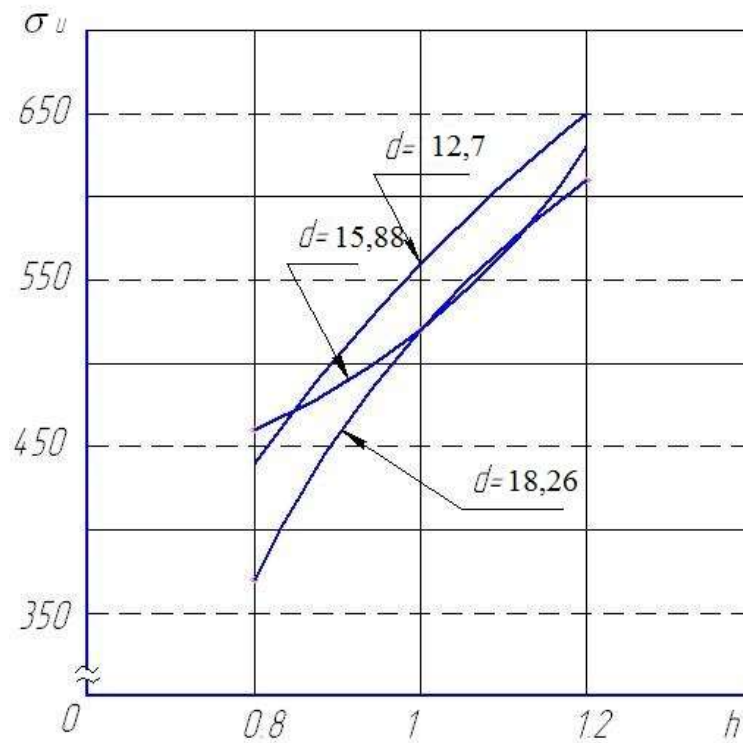
Розподілення інтенсивності напружень при вдавлюванні кульки діаметром 12,7 мм. на глибину 0,2 мм в циліндричну поверхню



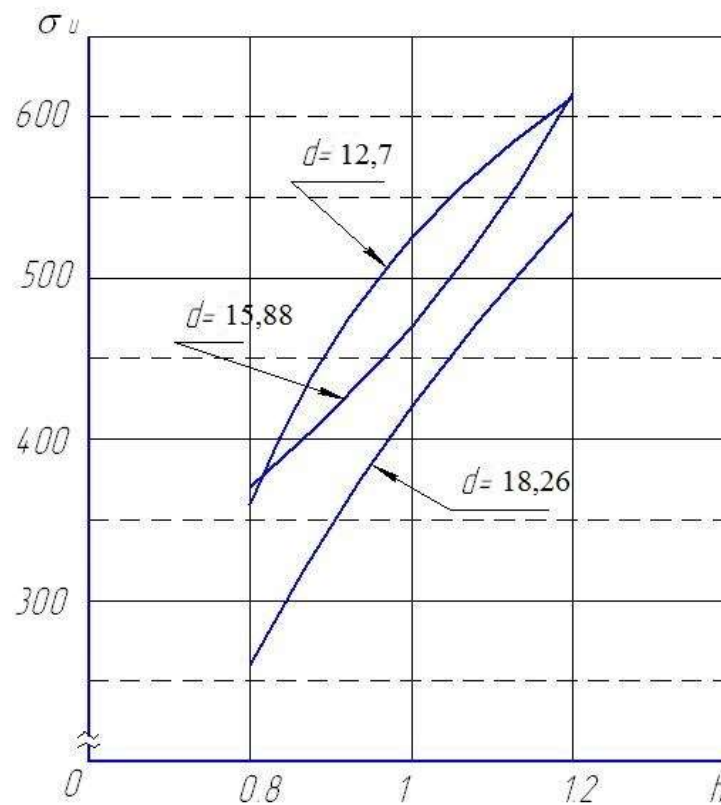
Розподілення ступені деформації при вдавлюванні кульки діаметром 12,7 мм. на глибину 0,2 мм. в циліндричну поверхню.



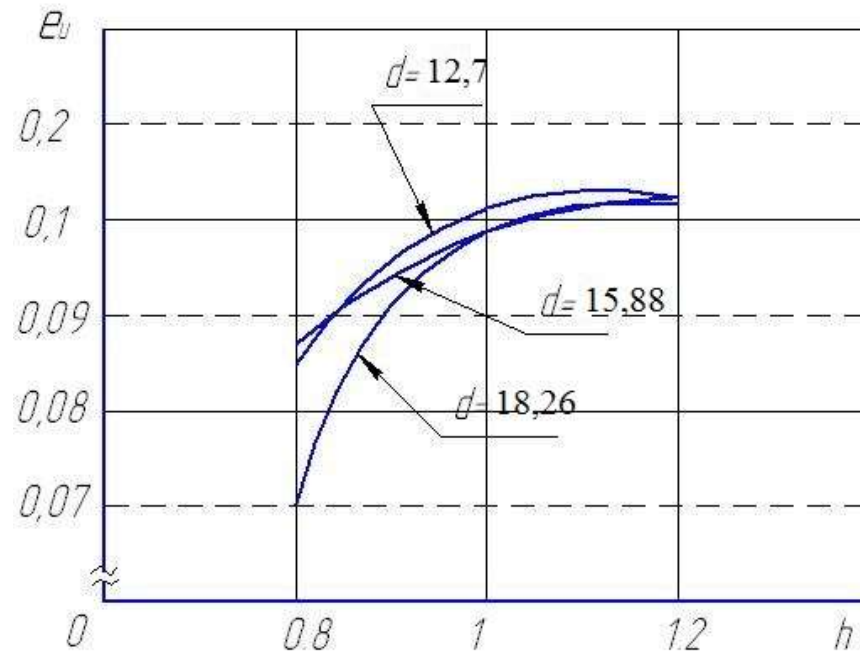
Графік залежностей інтенсивності напруження від глибини вдавлювання кульки в циліндричну поверхню для різних діаметрів цієї кульки



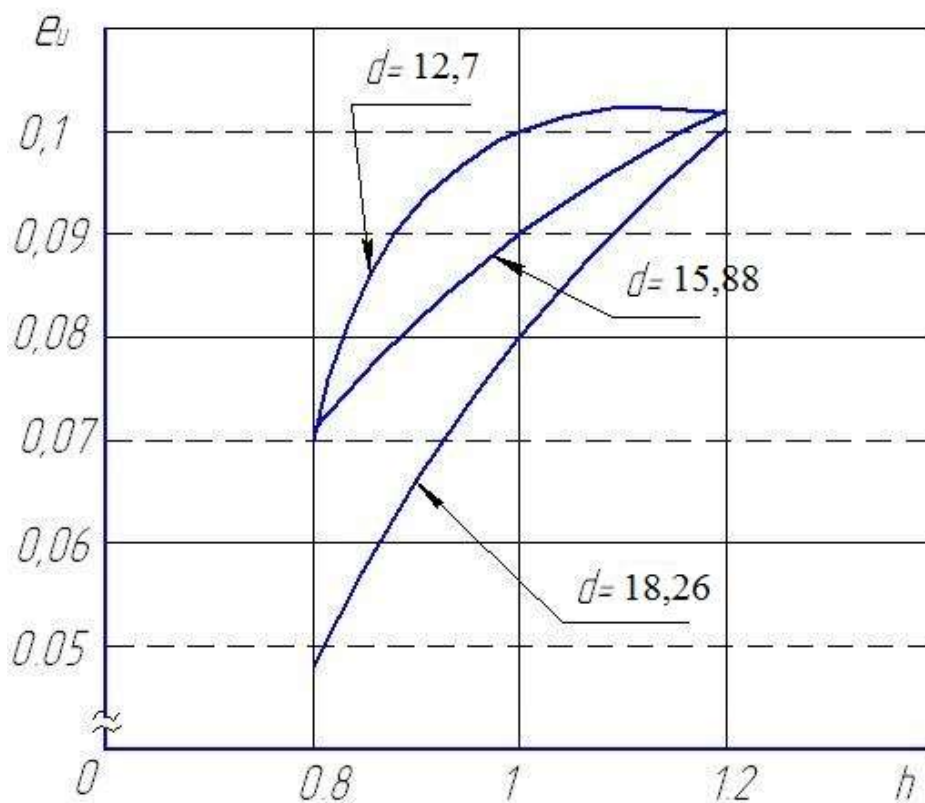
Графік залежностей інтенсивності напруження від глибини вдавлювання кульки в плоску поверхню для різних діаметрів цієї кульки



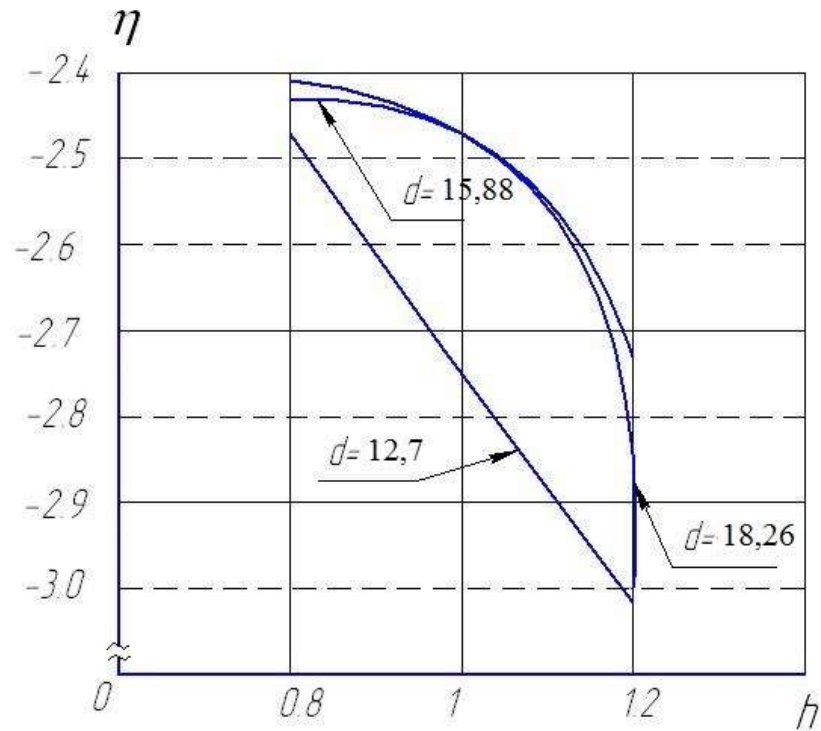
Графік залежностей ступеня деформації від глибини вдавлювання кульки в циліндричну поверхню для різних діаметрів цієї кульки



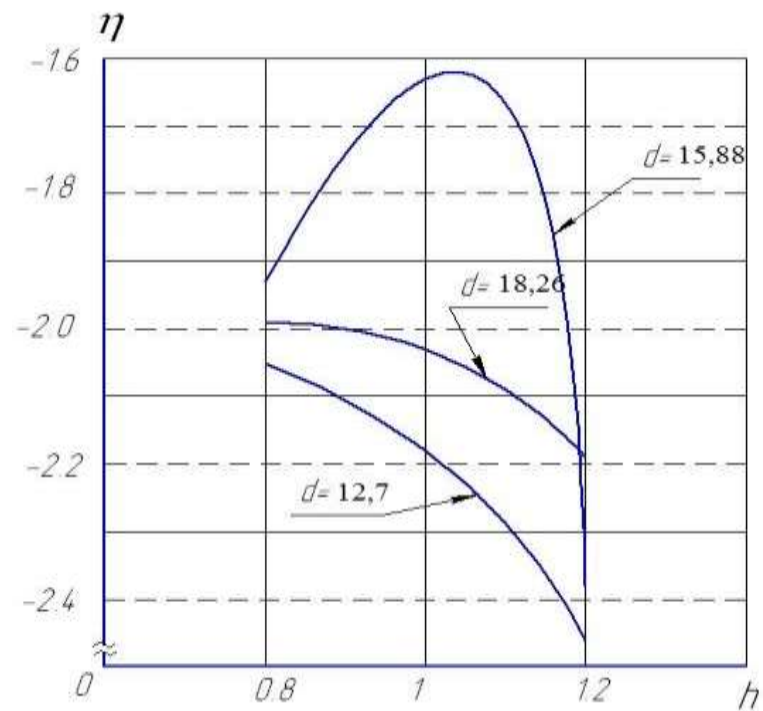
Графік залежностей ступеня деформації від глибини вдавлювання кульки в плоску поверхню для різних діаметрів цієї кульки



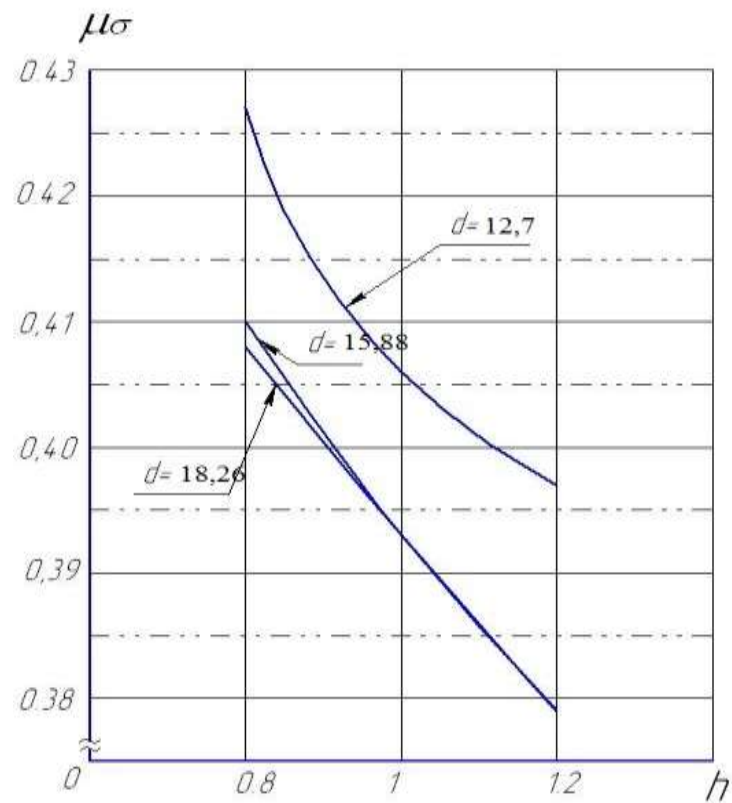
Графік залежностей показника жорсткості від глибини вдавлювання кульки в циліндричну поверхню для різних діаметрів цієї кульки



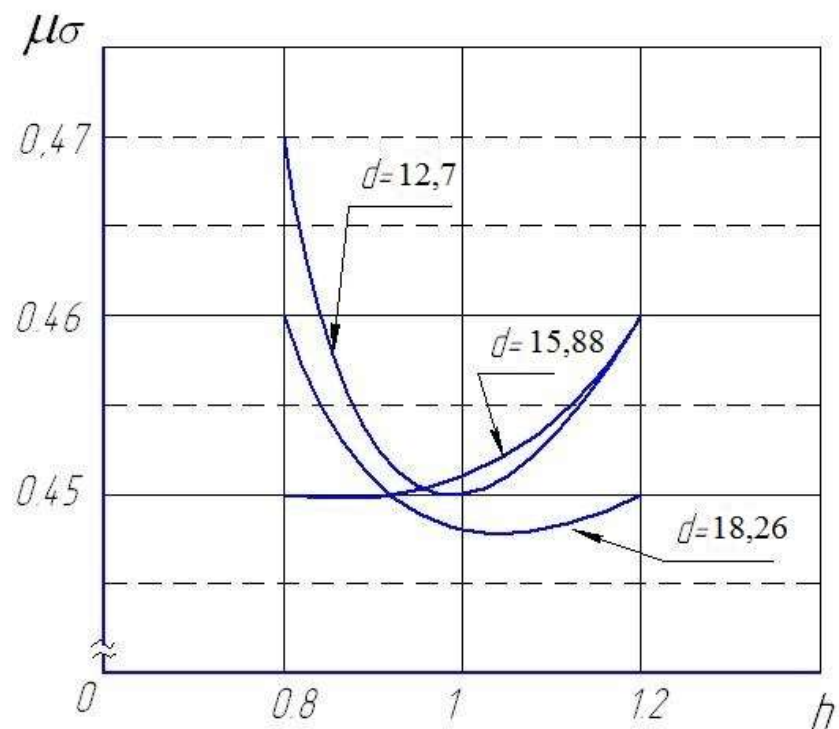
Графік залежностей показника жорсткості від глибини вдавлювання кульки в плоску поверхню для різних діаметрів цієї кульки

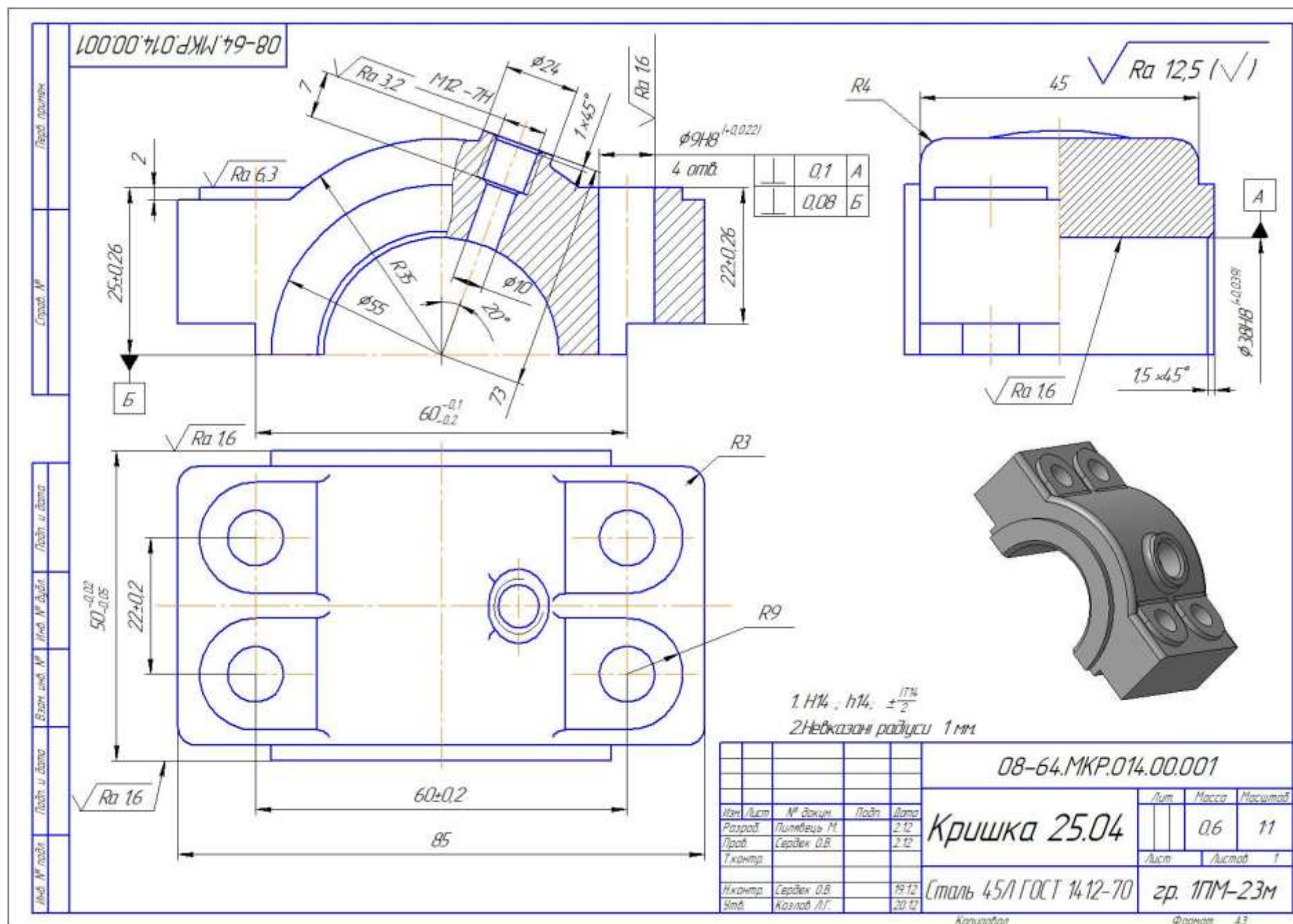


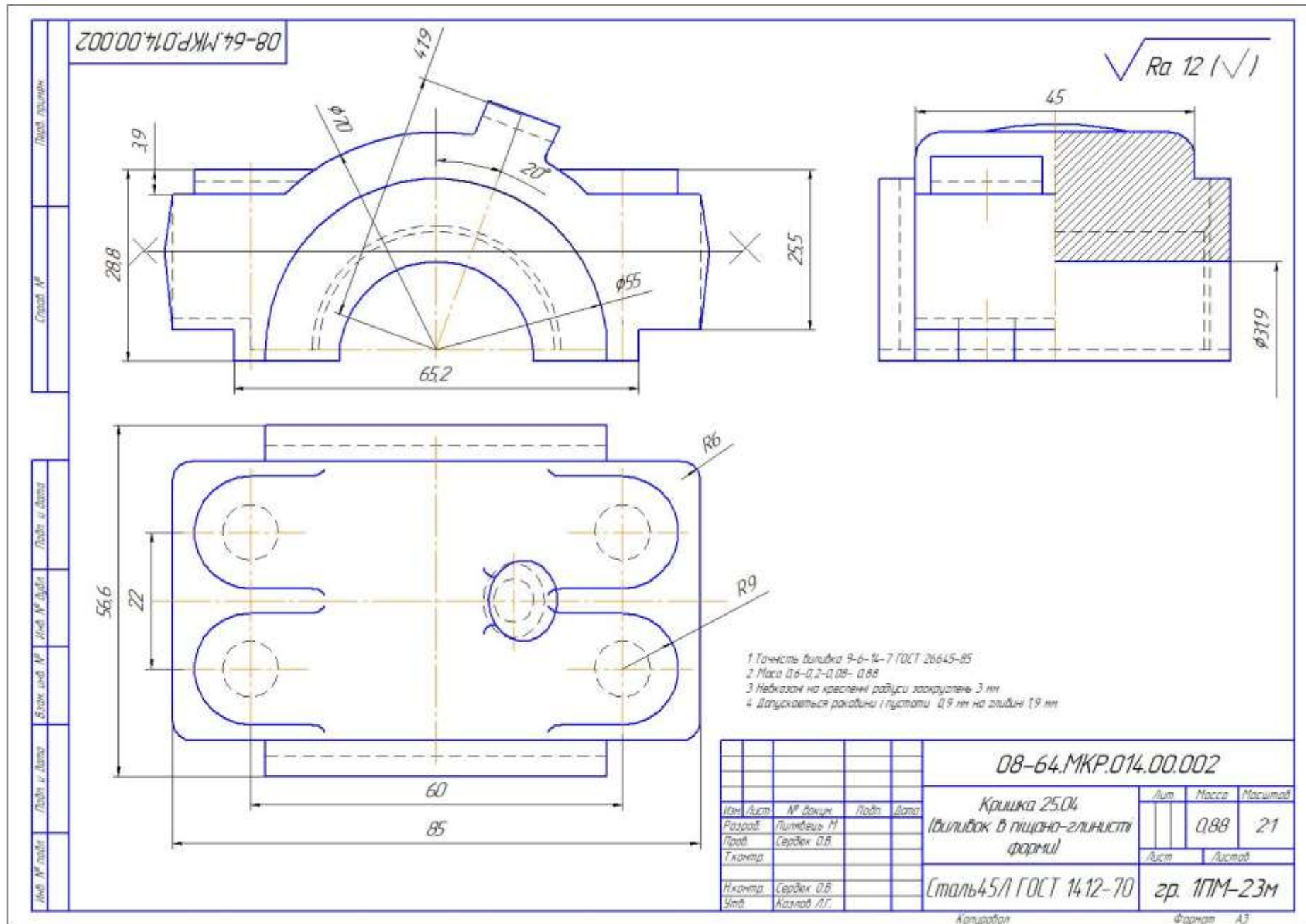
Графік залежностей параметру Надаї-Лоде від глибини вдавлювання кульки в циліндричну поверхню для різних діаметрів цієї кульки

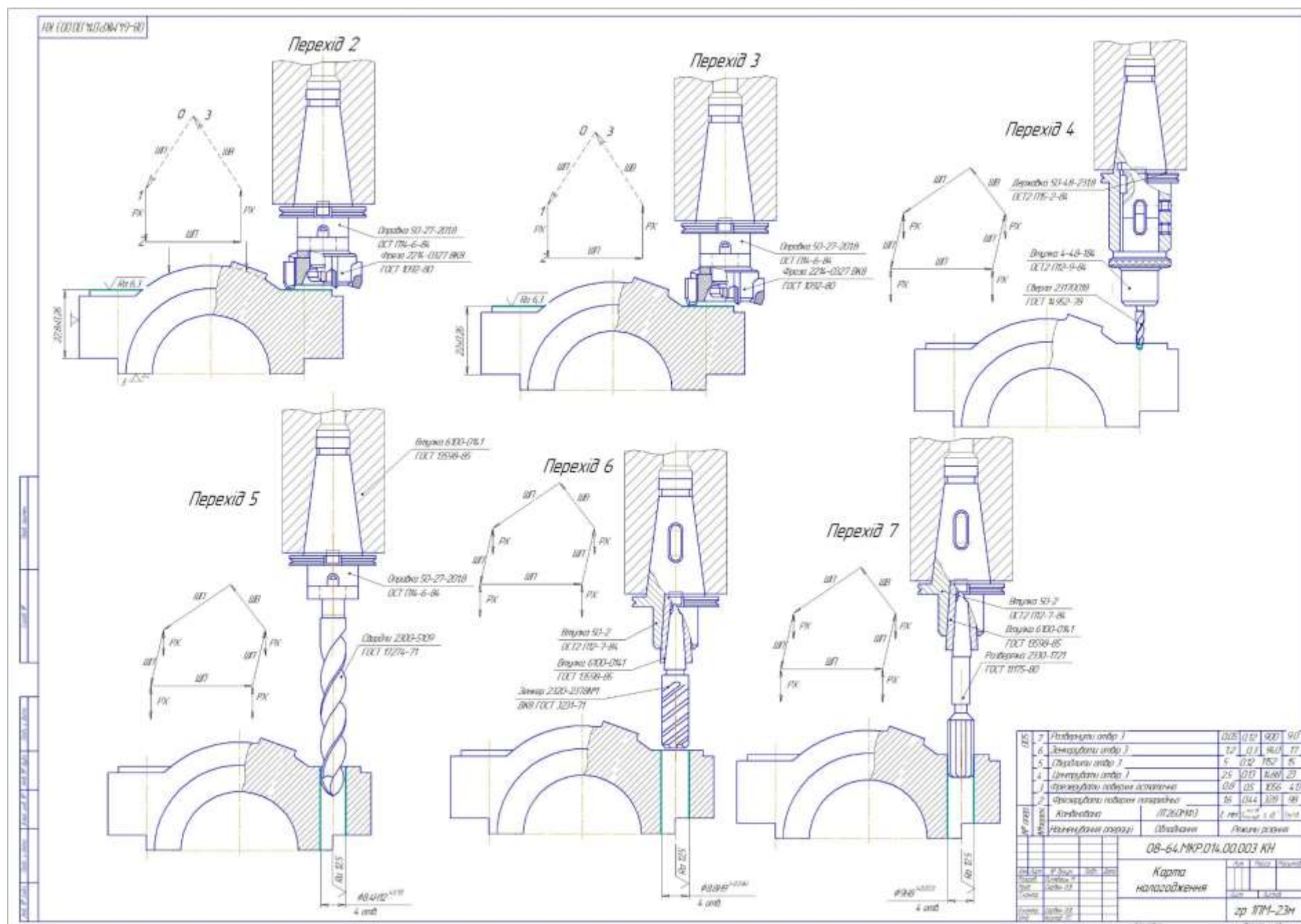


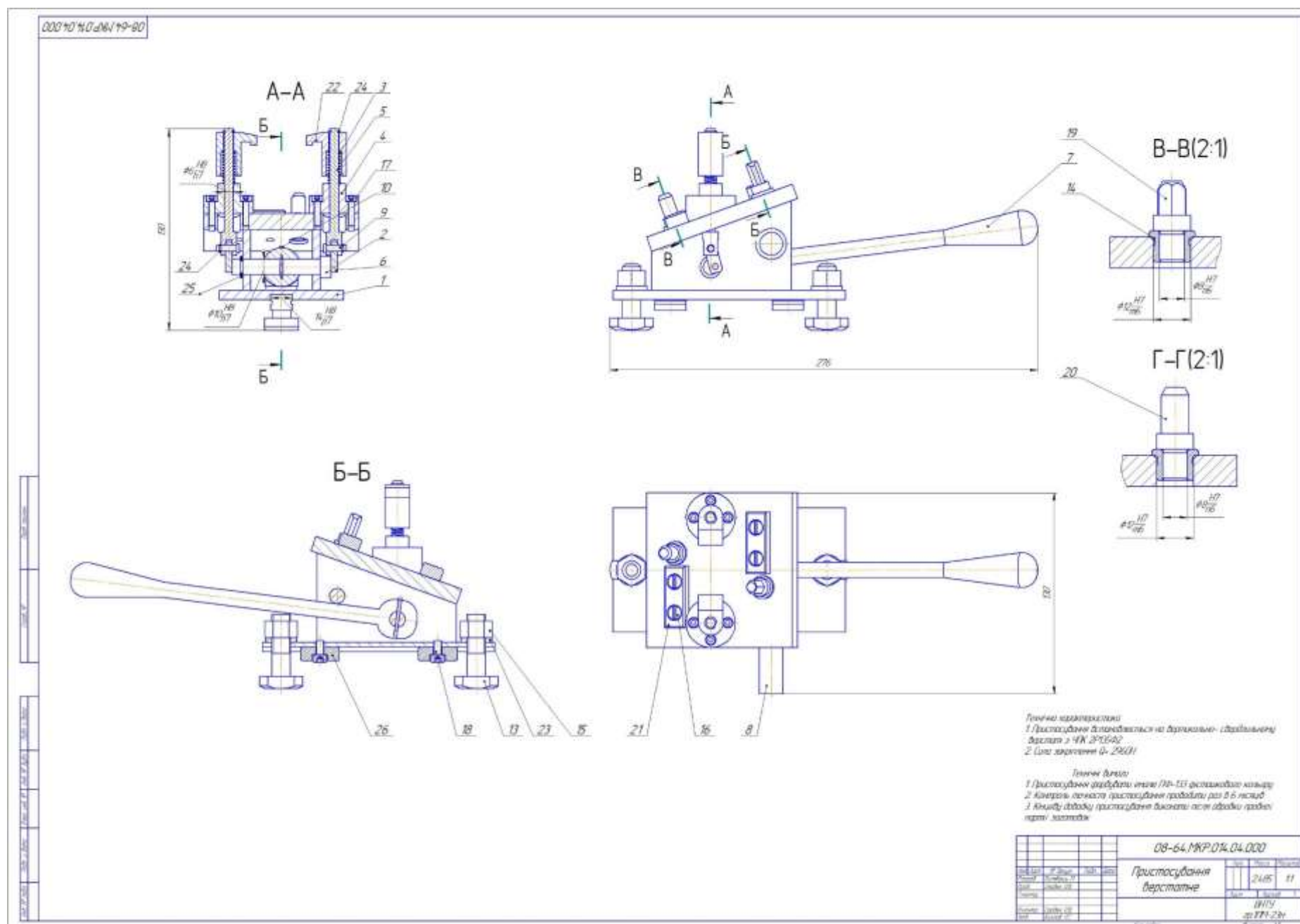
Графік залежностей параметру Надаї-Лоде від глибини вдавлювання кульки в плоску поверхню для різних діаметрів цієї кульки

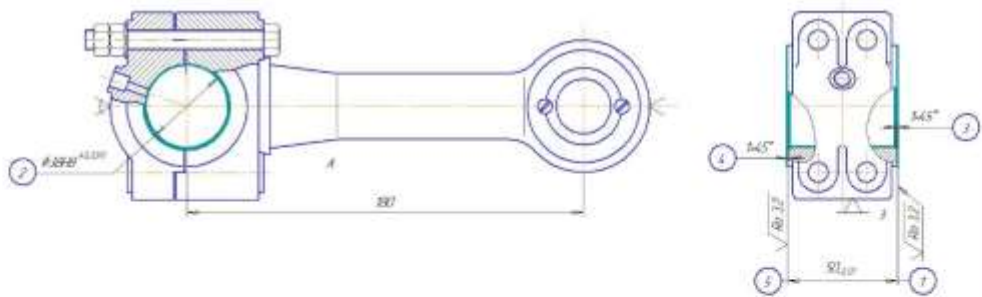








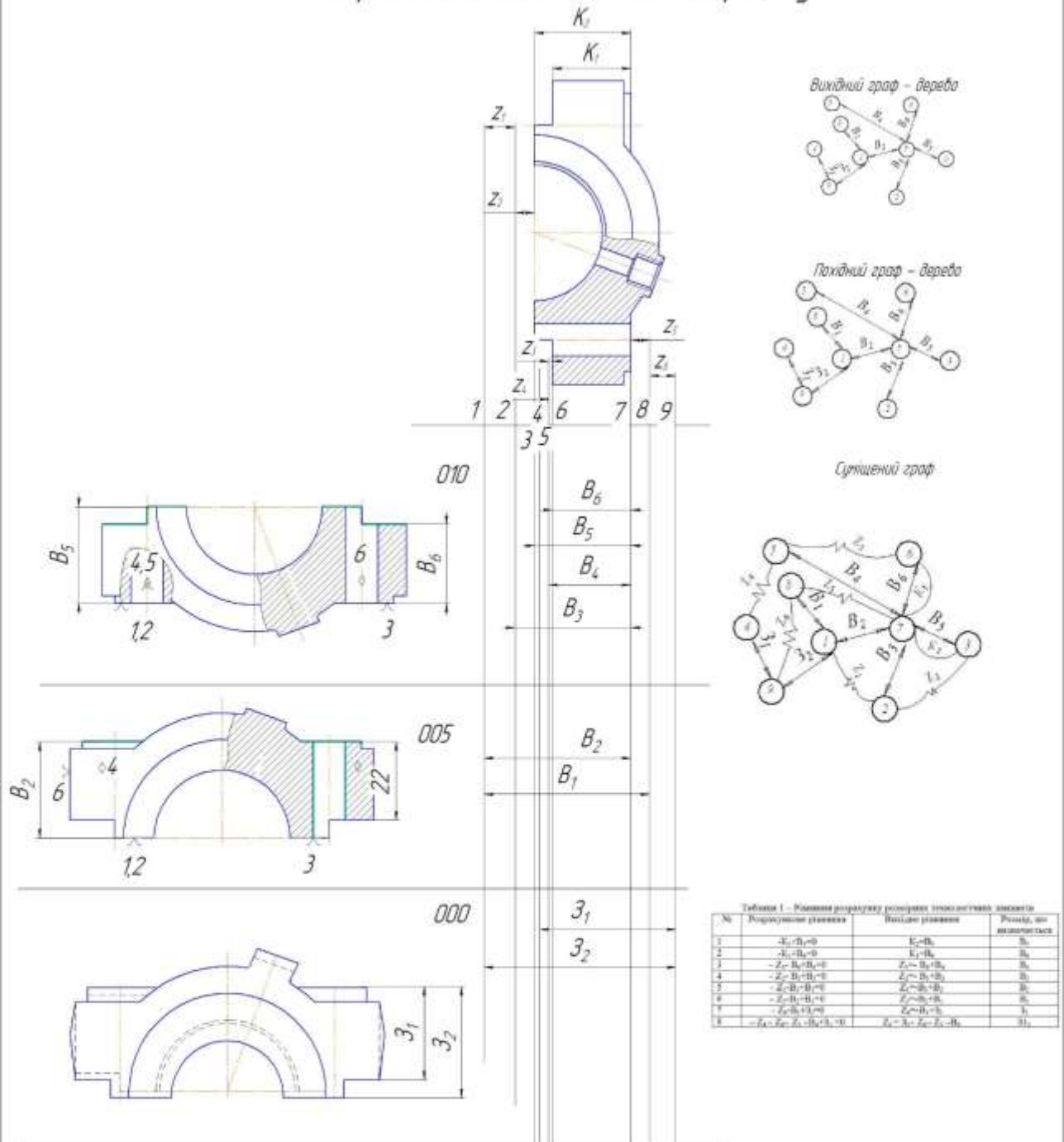


№ п/п	Зміст операції, переходу	Ескіз та схема установки	Тип верстату
015	Фрезерно-свердлильна 1 Встановити і закріпити 2 Фрезерувати площину 1 в розмір 50,6 (-0,56) повернути деталь та фрезерувати площину 5 в розмір 50,2 (-0,16) 3 Розточити передню отвір 2 в розмір $\phi 37,31 (+0,39)$ 4 Розточити передню отвір 2 в розмір $\phi 37,819 (+0,1)$ 5 Розточити фаску 4 в розмір згідно ескізу 6 Фрезерувати тонко площину 5 в розмір 50,1 (-0,01) 7 Повернути деталь та розточити фаску 3 в розмір згідно ескізу 8 Розточити отвір 2 в розмір згідно ескізу 9 Фрезерувати тонко площину 1 в розмір згідно ескізу 10 Зняти деталь	 Невказані граничні відхилення розмірів: отвору H14, валу h14, інших IT14/2	Вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний ЛТ260МФ3 з ділильною головкою, що керується від системи ЧПК

Маршрут механічної обробки

№ п/п	Зміст операції, переходу	Ескіз та схема установки	Тип верстату
005	<u>Комбінована</u> 1 Встановити і закріпити 2 Фрезерувати площину 1 попередньо в розмір 25,8 ($\pm 0,52$) 3 Фрезерувати площину 1 остаточно в розмір згідно ескізу 4 Центрувати 4 отвори 2 9 Свердлити 4 отвори 2 в розмір $\phi 8,4(+0,15)$ 10 Розвернути 2 отвори 2 в розмір $\phi 8,8(+0,08)$ 11 Зенкерувати 2 отвори 2 в розмір згідно ескізу 12 Зняти заготовку		Вертикальний свердильно- фрезерно- розточувальний ЛТ260МФЗ
010	<u>Фрезерна</u> 1 Встановити та закріпити 2 Фрезерувати площини 1 та 2 попередньо в розміри 25,8 ($\pm 0,52$) та 22,8 ($\pm 0,52$) відповідно 3 Фрезерувати площини 1 та 2 остаточно витримуючи розміри вказані на креслені 4 Зняти деталь.		Вертикальний свердильно- фрезерно- розточувальний ЛТ260МФЗ
015	<u>Вертикально-свердильна з ЧПК</u> 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Фрезерувати площину 1 в розмір згідно ескізу 3 Центрувати отвір 2 4 Свердлити отвір 2 в розмір згідно ескізу 6 Розсвердлити отвір 2 в розмір $\phi 11(+0,15)$ 7 Зенкувати фаску в отворі 2 витримуючи розміри вказані на ескізі 8 Нарізати різь в отворі 2 витримуючи розміри вказані на ескізі 9 Зняти деталь		Вертикальний свердильний з ЧПК 2Р135Ф2

Розмірний аналіз технологічного процесу



Таблиця 1 - Розрахунок розрізних технологічних зв'язків

№	Розрахунок зв'язків	Вихідні зв'язки	Результат, що визначається
1	$Z_1 \sim B_1 \sim 0$	$Z_1 \sim B_1$	B_1
2	$Z_2 \sim B_2 \sim 0$	$Z_2 \sim B_2$	B_2
3	$Z_3 \sim B_3 \sim 0$	$Z_3 \sim B_3$	B_3
4	$Z_4 \sim B_4 \sim 0$	$Z_4 \sim B_4$	B_4
5	$Z_5 \sim B_5 \sim 0$	$Z_5 \sim B_5$	B_5
6	$Z_6 \sim B_6 \sim 0$	$Z_6 \sim B_6$	B_6
7	$Z_7 \sim B_7 \sim 0$	$Z_7 \sim B_7$	B_7
8	$Z_8 \sim B_8 \sim 0$	$Z_8 \sim B_8$	B_8

Таблиця 2 - Припуски на механічну обробку

Припуски	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
$Z_{\min}$	0,3	0,6	0,3	0,6	0,3	0,6
$Z_{\max}$	2,2	1,66	1,66	5,5	2,44	4,2

Таблиця 3 - Значення технологічних розмірів, розмірів заготовки та їх допуски

Позначення розміру	Граничні значення розмірів	Допуск	Позначення розміру	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру у кресленні заготовки
Z_1	22,26	1,3	Z_1	22,26	22,56 $_{-1,3}^{+0}$
Z_2	30,04	1,3	Z_2	30,04	31,34 $_{-1,3}^{+0}$
B_1	28,14	1,3	B_1	29,44	29,44 $_{-1,3}^{+0}$
B_2	27	0,84	B_2	27,84	27,84 $_{-0,84}^{+0}$
B_3	25,56	0,84	B_3	26,4	26,4 $_{-0,84}^{+0}$
B_4	22,56	0,84	B_4	23,4	23,4 $_{-0,84}^{+0}$
B_5	24,74	0,52	B_5	25	25 $_{-0,26}^{+0}$
B_6	21,74	0,52	B_6	22	22 $_{-0,26}^{+0}$

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						Документація		
		A1				Складальне креслення		
						Деталі		
Спроб. №	A2	1	08-64.МКР.014.00.004.001	Корпус	1			
	A3	2	08-64.МКР.014.00.004.002	Вал	1			
	A3	3	08-64.МКР.014.00.004.003	Пружина	2			
	A3	4	08-64.МКР.014.00.004.004	Опора	2			
	A3	5	08-64.МКР.014.00.004.005	Важіль	2			
	A4	6	08-64.МКР.014.00.004.006	Важіль	2			
	A4	7	08-64.МКР.014.00.004.007	Ручка	1			
	A4	8	08-64.МКР.014.00.004.008	Фіксатор	1			
	A4	9	08-64.МКР.014.00.004.009	Вісь	2			
	A4	10	08-64.МКР.014.00.004.010	Штифт	1			
Подп. и дата						Стандартні вироби		
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
08-64.МКР.014.00.04.000 СП								
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пристосування верстатне		Лист.	Лист	Листов
Разроб.	Пиливець М.						1	2
Проб.	Сердюк О.В.							
Н.контр.	Сердюк О.В.					ВНТУ		
Утв.	Козлов ЛГ.					зр.1ПМ-23м		
Копіював					Формат А4			

[illegible]