

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри ММіР
к.т.н., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:
**«Вдосконалення конструкції інструмента для
обробки точних отворів у корпусних деталях»**

Виконав здобувач вищої освіти 4 курсу
групи ПМ-23мб-3
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D-друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Олег БАЛАНДІН

Керівник роботи к.т.н., ст. викладач
_____ Павло ЄРЬОМІН

Рецензент: _____

Кропивницький 2026

Центральноукраїнський національний технічний університет			
Факультет	Механіко-технологічний		
Кафедра	Машинобудування,	мехатроніки	і
	робототехніки		
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)		
Галузь знань	13 Механічна інженерія		
Спеціальність	131 Прикладна механіка		
Освітньо-професійна програма	Комп'ютерний	інжиніринг	технологій,
	робототехніка і 3D-друк		

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА

Баландіну Олегу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вдосконалення конструкції інструмента для
обробки точних отворів у корпусних деталях

2. Керівник роботи: к.т.н., ст. викл. Павло ЄРЬОМІН

3. Строк подання роботи до захисту «_____» червня 2026 р.

Затверджено наказом ЦНТУ від _____ 2026 року № _____

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є вдосконалення конструкції прошивного інструмента для обробки точних отворів у корпусних деталях типу картер гідравлічного підсилювача рульового керування ШВГУ 720, зниження працемісткості виготовлення деталі, підвищення продуктивності праці, зменшення собівартості продукції.

Завдання:

здійснити аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі картер гідравлічного підсилювача рульового керування ШВГУ 720, запропонувати заходи по раціоналізації та підвищенню ефективності технологічного процесу; провести комплекс робіт по підбору обладнання, інструменту, верстатних затискних пристосувань;

розробити конструкцію та вимоги до застосованого інструменту, а також затискного пристосування, із розробкою конструкторської документації.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	15 квітня 2026 р.	вик.
2	Виконання загальної частини	10 травня 2026 р.	вик.
3	Виконання технологічної частини	12 травня 2026 р.	вик.
4	Виконання конструкторської частини	20 травня 2026 р.	вик.
5	Розробка креслеників	25 травня 2026 р.	вик.
6	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	5 червня 2026 р.	вик.
7	Перевірка роботи на академічний плагіат	червня 2026 р.	вик.
8	Рецензування роботи	червня 2026 р.	
9	Захист кваліфікаційної роботи	червня 2026 р.	

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Олег БАЛАНДІН
(підпис)

Керівник роботи _____ Павло ЄРЬОМІН
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Олег Баландін. Вдосконалення конструкції інструмента для обробки точних отворів у корпусних деталях. Кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «бакалавр»: ЦНТУ, м. Кропивницький, 2026 р. – 43 с. Матеріали презентації – креслення загальним обсягом 3,375 л. ф. А1.

Мета роботи полягає у вдосконаленні конструкції прошивного інструмента для обробки точних отворів у корпусних деталях типу картер гідравлічного підсилювача рульового керування ШВГУ 720, зниження працемісткості виготовлення цієї деталі, підвищення продуктивності праці, зниження собівартості гідравлічних підсилювачів.

Вдосконалення досягається за рахунок ретельного аналізу існуючого технологічного процесу обробки з метою визначення його вузьких місць та недоліків. Також у роботі піддається аналізу конструкція деталі картер гідравлічного підсилювача рульового керування ШВГУ 720, її матеріал та способи отримання виливків. Технологічна частина містить підбір металообробного обладнання, забезпечення інструментами, розрахунки робочих твердосплавних елементів прошивки та режимів їх обробки. У конструкторській частині представлена вдосконалена конструкція збірного прошивного інструменту для обробки точних круглих отворів у деталі типу картер та компонування пристосування для обробки наскрізного отвору картера.

Актуальність. Розробка конструкції прошивного інструмента для обробки деталі типу картер є затребуваною практичною задачею, враховуючи широке застосування гідравлічних підсилювачів рульового керування типу ШВГУ 720 на вітчизняних вантажних автомобілях та автобусах середнього класу.

Практичне значення. У кваліфікаційній роботі було виконано ретельний аналіз базового заводського технологічного процесу та представлені пропозиції

щодо застосування покращеної конструкції прошивного збірної інструменту для обробки точних отворів у деталях типу картер гідравлічного підсилювача рульового керування ШІВГУ 720. Також представлено компоновку установочного пристрою для обробки наскрізного отвору картера $\varnothing 98^{+0,03}$ мм.

Ключові слова: прошивка, технологічний процес, картер, гідравлічний підсилювач, точний отвір, обробка різанням та деформуванням.

ABSTRACT

Oleg Balandin. Improving the design of the tool for machining precise holes in body parts. Qualification work for the educational degree "Bachelor": CUNTU, Kropyvnytskyi, 2026 - 43 p. Presentation materials – drawings (3.375 pages format A1).

Research Objectives: The objective of this work is to improve the design of a burnishing tool (deformation broach) for finishing high-precision holes in housing components, specifically the housing of the ШІВГУ 720 hydraulic power steering gear. Additionally, the work aims to reduce the manufacturing labor intensity of this component, increase labor productivity, and lower the production cost of hydraulic power steering units.

Methodology: This improvement is achieved through a rigorous analysis of the existing manufacturing process to identify its bottlenecks and deficiencies. The study also analyzes the design of the ШІВГУ 720 hydraulic power steering housing, its material, and casting methods. The manufacturing engineering section includes the selection of metalworking equipment, tooling procurement, and engineering calculations for the carbide working elements of the burnishing tool and their processing parameters. The mechanical design section presents an improved design of an assembly burnishing tool for finishing precision round holes in housing-type parts, as well as the layout of a fixture for machining the through-hole of the housing.

Relevance: Developing the design of a burnishing tool for processing housing-

type components is a high-demand practical task, given the widespread use of IIIBFY 720-type hydraulic power steering gears in domestic medium-duty trucks and buses.

Practical Significance: This qualification thesis provides a thorough analysis of the baseline factory manufacturing process and proposes the implementation of an improved assembly burnishing tool design for finishing high-precision holes in IIIBFY 720 hydraulic power steering housings. Furthermore, it presents the layout of a locating fixture for machining the $\varnothing 98^{+0,03}$ mm housing through-hole.

Keywords: burnishing broach, manufacturing process, housing, hydraulic power steering, precision hole, machining and plastic deformation.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

«Вдосконалення конструкції інструмента для обробки точних отворів у корпусних деталях»

КРБ.ПМ.26.10.69.00.00 ПЗ

Виконав здобувач вищої освіти 4 курсу
групи ПМ-23мб-З

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D-друк»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Олег БАЛАНДІН

Керівник роботи к.т.н., ст. викл.

_____ Павло ЄРЬОМІН

Кропивницький 2026

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 Технологічна частина	11
1.1 Призначення, область застосування та загальна будова гідравлічних підсилювачів рульового управління ШВГУ 720.....	11
1.2 Аналіз завдання на проектування	12
1.2.1 Призначення деталі	12
1.2.2 Аналіз технологічності деталі	14
1.2.3 Обґрунтування переваг запропонованого методу деформуючого прошивання	18
1.3 Вдосконалений технологічний процес фінішної обробки наскрізного отвору $\varnothing 98^{+0,03}$ мм	21
2 Конструкторська частина	23
2.1 Розробка конструкції прошивного твердосплавного інструменту для обробки співвісних точних отворів	23
2.2 Вибір геометрії робочих елементів прошивки та твердого сплаву для їх виготовлення	29
2.3 Розрахунок на міцність твердосплавних деформуючих елементів ...	30
2.4 Розрахунок на міцність різьбового з'єднання	35
2.5 Організація робочого місця	36
Висновки	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	41
ДОДАТКИ	43

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний стан розвитку машинобудування в Україні характеризується високим рівнем вимог до надійності, ресурсу та безпеки складних вузлів автомобільної та спеціальної техніки. Одним із таких критично важливих вузлів є гідравлічний підсилювач рульового керування типу ШВГУ 720, який застосовується у складі рульового керування вантажних автомобілів, автобусів та спецтехніки.

Центральною деталлю гідравлічного підсилювача є чавунний картер, що має систему точних глибоких отворів. Якісна та надійна робота гідравлічного підсилювача безпосередньо залежить від точності геометричних параметрів та якості поверхні цих отворів, оскільки вони є робочими поверхнями для поршнів з ущільнювачами та гідравлічних розподільників, що працюють під високим тиском робочої рідини (мастила).

Традиційні методи обробки та стандартний ріжучий лезовий інструмент не завжди забезпечують необхідної продуктивності або швидко зношуються через абразивні властивості поверхневих шарів виливків із чавуну. Це призводить до появи мікроскопічних дефектів на оброблених поверхнях, порушення співвісності або циліндричності та збільшення відсотка браку. Тому розробка вдосконаленого прошивного інструменту, який враховує специфіку матеріалу (високоміцний чавун) та конструктивні особливості картера ШВГУ 720, є актуальним технічним завданням, спрямованим на підвищення ефективності виробництва та якості готової продукції.

Мета роботи – підвищення якості обробки та зниження собівартості виготовлення отворів у деталі «Картер ШВГУ 720» шляхом розробки та впровадження вдосконаленої конструкції прошивного інструменту.

Об'єкт дослідження – технологічний процес механічної обробки точних отворів у корпусних деталях із високоміцного чавуну.

Предмет дослідження – конструктивні параметри, геометричні характеристики та зносостійкість вдосконаленого прошивного інструменту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати конструктивні особливості деталі картер гідравлічного підсилювача ШВГУ 720 та технічні вимоги до її точності;
- дослідити існуючі методи обробки точних отворів у чавунних деталях та виявити недоліки стандартного інструменту;
- обґрунтувати вибір матеріалу та геометрії робочої частини вдосконаленого інструменту;
- виконати необхідні інженерні розрахунки робочих елементів прошивки;
- запропонувати компонування пристосування для обробки наскрізного отвору картера $\varnothing 98^{+0,03}$ мм.

Розділ 1 Технологічна частина

1.1 Призначення, область застосування та загальна будова гідравлічних підсилювачів рульового управління ШВГУ 720

Кулько-гвинтовий гідравлічний підсилювач рульового керування ШВГУ 720 входить в склад систем рульового управління автотранспортних засобів середнього класу (вантажні автомобілі, автобуси та спеціальний транспорт на їх основі) як пристрій, що передає керуючі дії від рульового колеса, необхідні для полегшеного та контрольованого повороту керованих коліс. Загальна будова гідравлічного підсилювача показано на рисунку 1 [1]

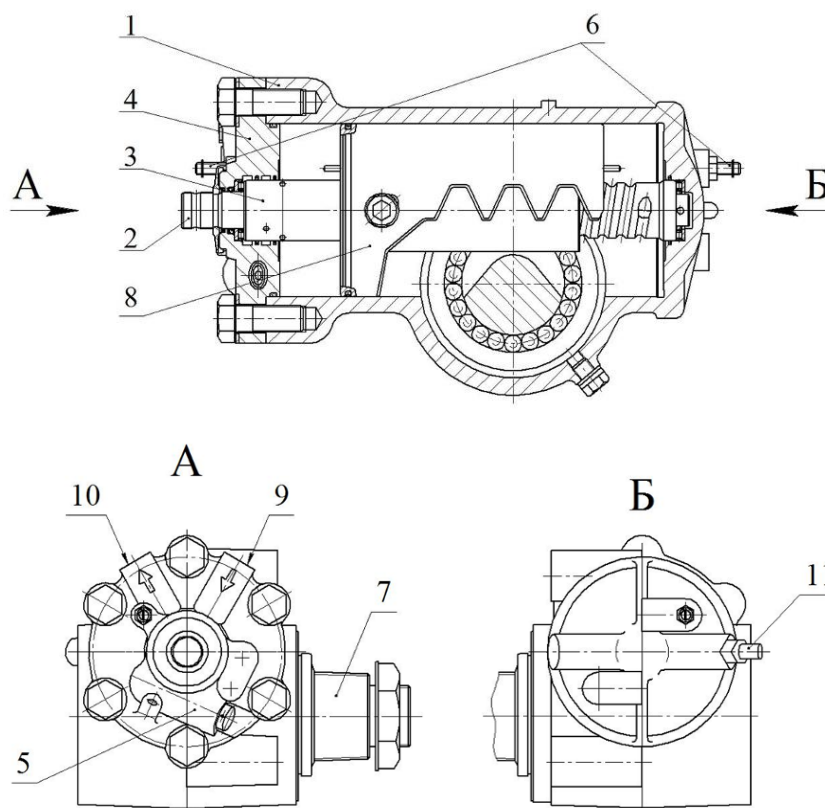


Рисунок 1 – Загальна будова гідравлічного підсилювача ШВГУ 720: 1 – картер пристрою; 2 – ротор; 3 – гвинт; 4 – корпус розподільника; 5 – порожнина під запобіжний клапан; 6 – упори кінцевих вимикачів; 7 – вал сошки; 8 – рейка-поршень; 9 – напірна магістраль; 10 – зливна магістраль; 11 – клапан для видалення повітря.

ШВГУ складається з картера 1, в якому розміщені кулько-гвинтова та рейкова передачі. Ротор 2 призначений для закріплення на ньому рульового кардану та є одночасно внутрішнім золотником розподільчої частини гвинта 3, який встановлений у корпусі розподільника 4, з'єднаного з картером 1. У корпусі розподільника 4 виконано напірну 9 та зливну 10 магістралі, призначені для з'єднання з відповідними магістралями гідросистеми. У тілі корпусу розподільника 4 розташована порожнина під запобіжний клапан 5. Запобіжний клапан працює при значеннях тиску, що перевищують допустимі. Зворотний клапан, розміщений у напірній магістралі 9 корпусу розподільника 4 забезпечує роботу транспортного засобу в аварійному режимі при відмові насоса живлення.

У дні картеру 1 і в тілі корпусу розподільника 4 встановлені регульовані упори кінцевих вимикачів 6, призначені для обмеження кута повороту валу сошки 7. Вихідна шліцьова частина валу сошки 7 призначена для встановлення сошки рульового управління. Картер 1 розділений рейкою-поршнем 8 на дві порожнини, кожна з яких пов'язана з відповідними каналами розподільника.

При повороті ротора 2 відбувається з'єднання напірної 9 і зливної 10 магістралей з відповідними порожнинами картера 1, розділеними рейкою-поршнем 8. При цьому забезпечується переміщення в одну з сторін рейки - поршня 8, зубці якої, взаємодіють із зубцями валу сошки 7 та здійснюють поворот валу. При поверненні ротора 2 в нейтральне положення встановлюється рівновага в порожнинах картера 1, при цьому переміщення рейки-поршня 8 припиняється.

1.2 Аналіз завдання на проектування

1.2.1 Призначення деталі

Картер (рис. 2) є основною та досить відповідальною деталлю гідравлічного підсилювача.

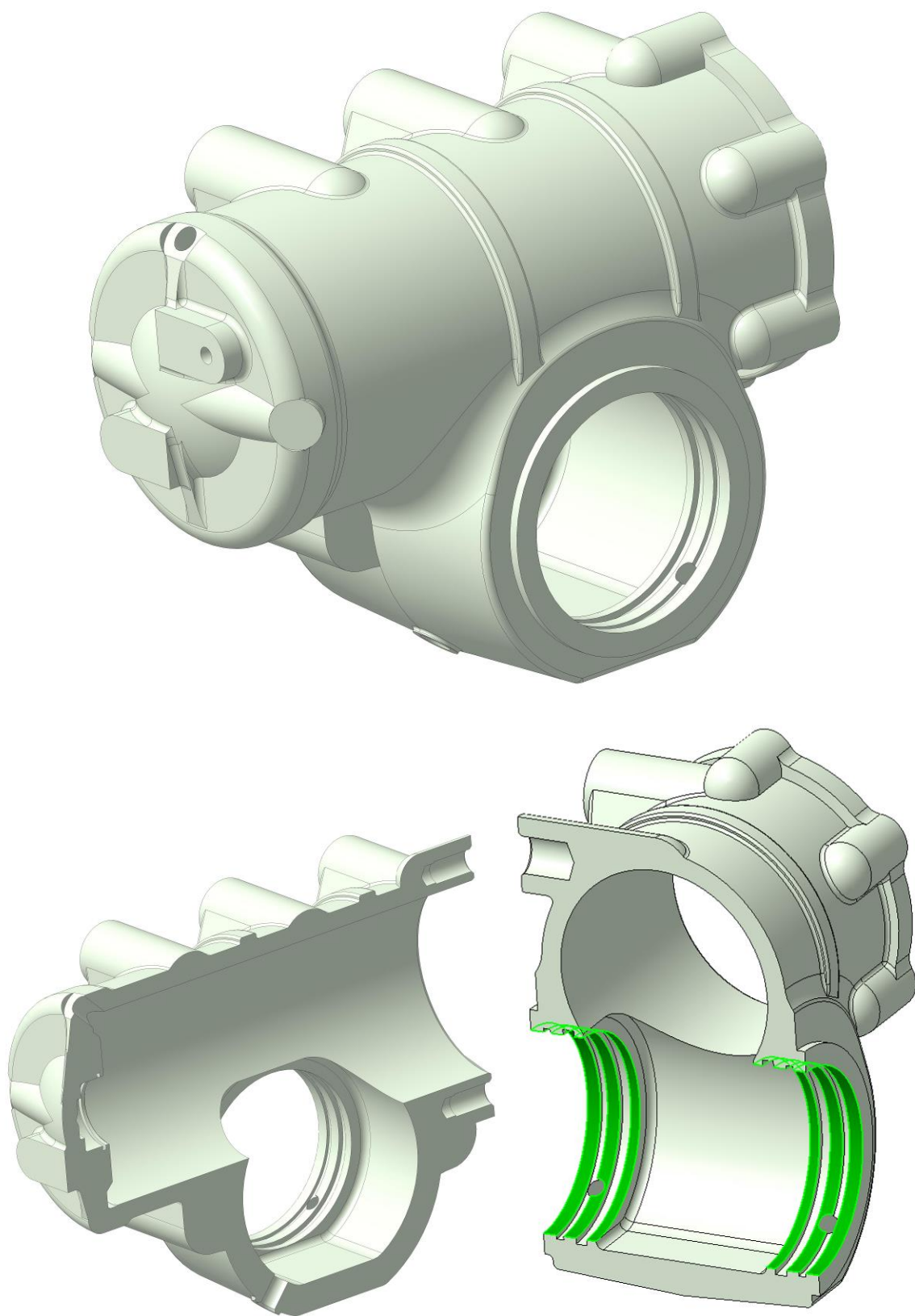


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд картера та оброблювані поверхні наскрізного отвору для встановлення опорних підшипників валу сошки

Корпус картера сприймає зовнішні силові навантаження як від рульових тяг із боку валу сошки, так й внутрішні навантаження від гідравлічного контуру, якій розміщений посередині. Окрім того, картер жорстко закріплюється за допомогою болтів на силовій рамі транспортного засобу, тому він повинен виготовлятися із конструкційного матеріалу, який здатен сприймати високі навантаження. Зазвичай, для цього використовують виливки із високоміцних сірих чавунів, які вдало поєднують у собі високі механічні властивості та гарну оброблюваність. В якості матеріалу для виготовлення виливку картера використовується високоміцний чавун марки ВЧ500-2 за ДСТУ 3925-99. Це високоміцний чавун з кулястим графітом, який забезпечує поєднання високої міцності (500 МПа) та помірної пластичності (2% відносного подовження). Закордонними аналогами ВЧ500-2 є чавуни марок EN-GJS-500-7 (європейський стандарт EN 1563), (США), а також JIS G5502 FCD500 (Японія). Механічні властивості чавуну представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

Стандарт	Марка	Межа міцності (σ_B), МПа	Відносне видовження та твердість (HB)
ДСТУ 3925-99	ВЧ500-2	500	2%, 180...260 після відпалу
EN 1563 (ЄС)	EN-GJS-500-7	500	7%
ASTM A536 (США)	70-50-05	483...500	5%
JIS G5502 (Японія)	FCD500	500	2...7%

1.2.2 Аналіз технологічності деталі

Співвісність та особливості обробки переривчастого отвору з точними отворами є найбільш критичними аспектами технологічності. Базовий

технологічний процес містить три послідовні операції чорнового та чистового розточування отвору картера, а саме:

Операція 1: Чорнове розточування під обойму

Завдання: Розточити начорно два отвори під обойму, витримуючи розміри 20, 21, 22, 26, 27 (рис. 3а).

Інструмент: SECO Розточувальна система

Компоненти:

Розточувальна головка: A75060

Тримач: A75065CC1690

Пластина: CCMT160508-F2

Сплав: TP2500

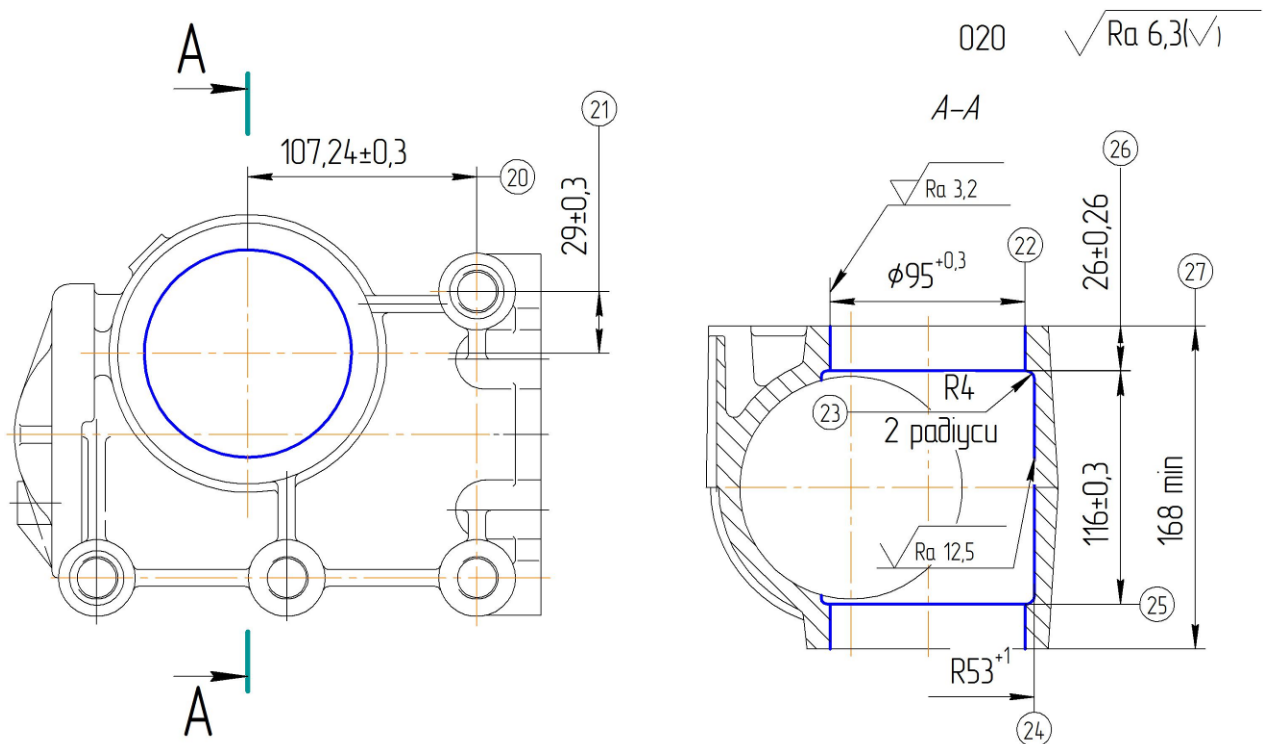


Рисунок 3а – Чорнова операція розточування

Операція 2: Послідовне чорнове розточування

Завдання: Розточити 2 отвори послідовно та начорно, витримуючи розміри 47 (рис. 3б).

Інструмент: Seco Чорнова розточувальна головка A780 60 97

Компоненти:

Оправка: EM341640136140

Пластина: CCMT 09T302-F1

Сплав: TP2500

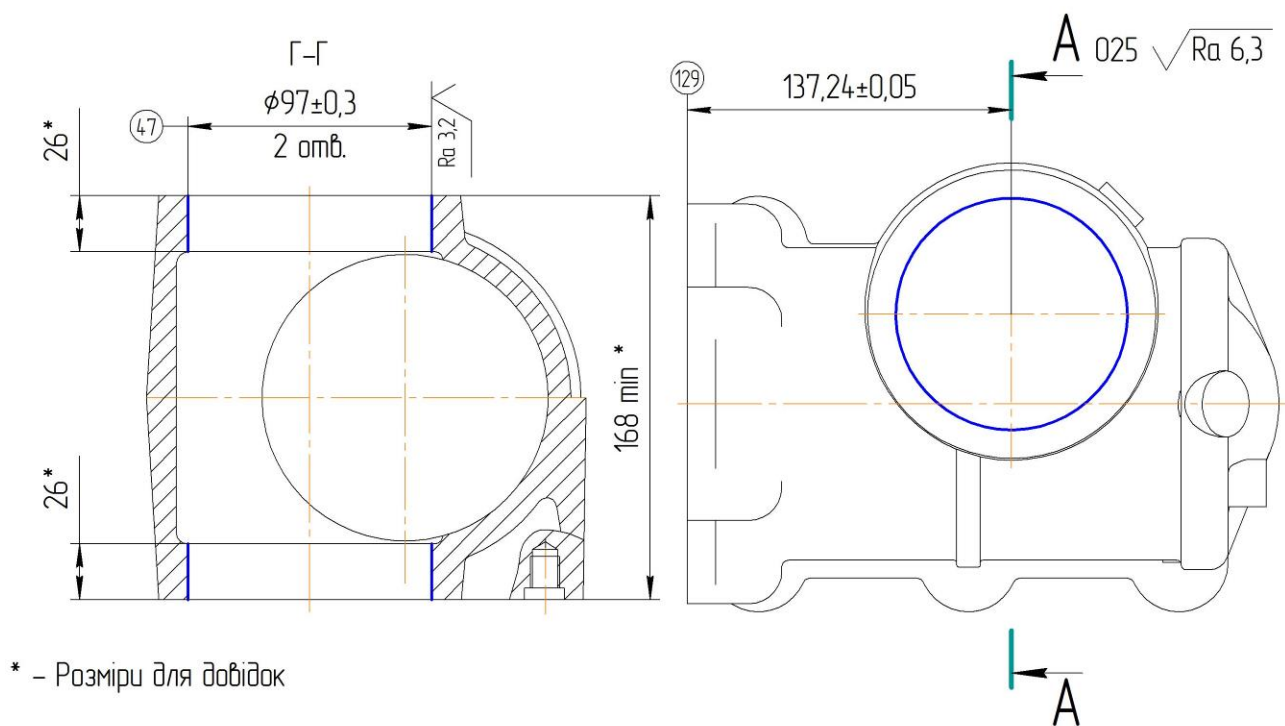


Рисунок 3б – Послідовне чорнове розточування

Операція 3: Послідовне чистове розточування

Завдання: Розточити 2 отвори послідовно, витримуючи розміри 128, 127 (рис.3в).

Інструмент: Seco Чистова розточувальна головка A780 60 98

Компоненти:

Оправка: EM341640136140

Пластина: CCMT 09T302-F1

Сплав: TP2500

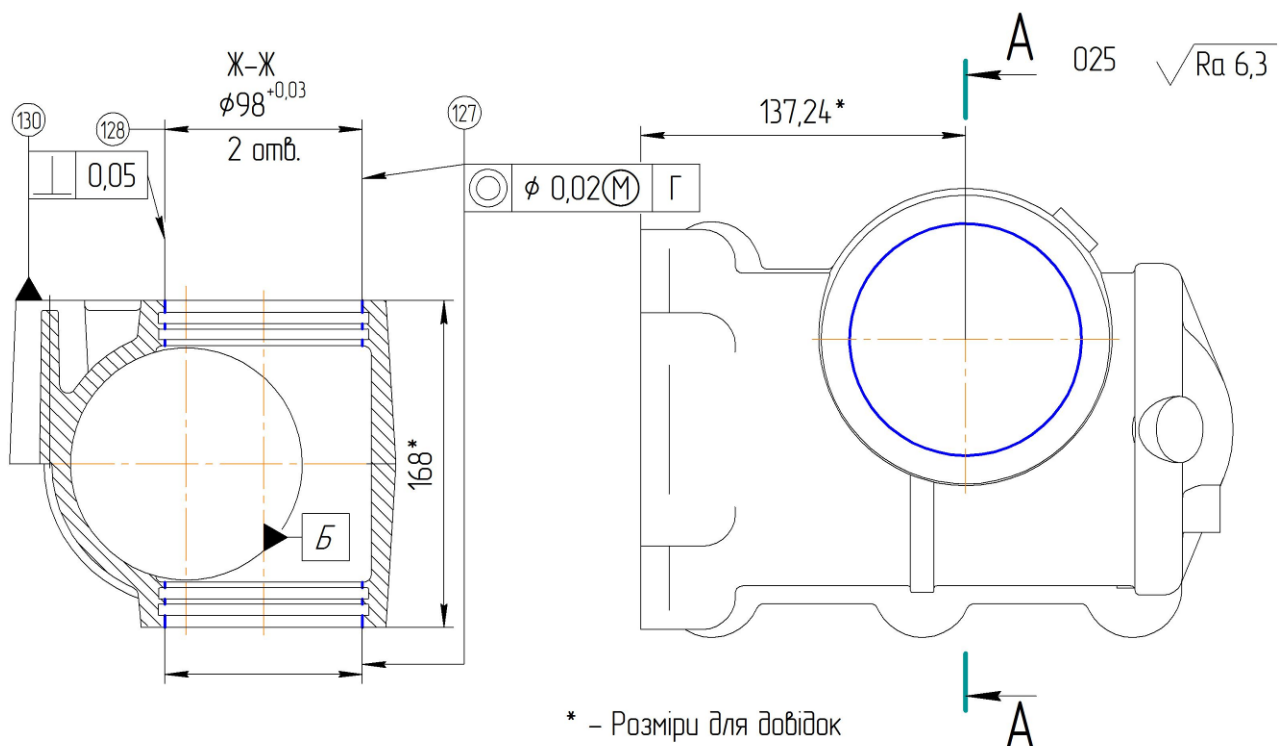


Рисунок 3в – Послідовне чистове розточування

Аналіз технологічності обробки двох співвісних отворів $\phi 98^{+0,03}$ мм у картері ШВГУ 720 показує, що це одне з найскладніших завдань при виготовленні даної деталі. Враховуючи матеріал – високоміцний чавун ВЧ 500-2 та високі вимоги до точності, проведемо оцінку технологічності деталі.

1. Точність та матеріал

Допуск: Діаметр $\phi 98^{+0,03}$ мм відповідає 7-му квалітету точності (IT7). Для чавуну марки ВЧ 500-2 з твердістю 180...260 НВ це вимагає фінішних операцій (тонке розточування або прошивання/протягування). Оскільки залишки ливарної корки на поверхні виливку мають абразивні властивості, то це може впливати на розмірну стійкість інструменту.

Герметичність: Згідно вимог конструкторської документації картер повинен витримувати тиск робочої рідини 20 МПа впродовж декількох хвилин. Це означає, що корпус картера повинен бути міцним, а шорсткість поверхні отворів має бути стабільною (зазвичай $Ra1,6$ або нижче, хоча на загальних видах вказано $Ra6,3$). Низька шорсткість необхідна для того, щоб гумові ущільнення працювали надійно та не зношувались передчасно.

1.2.3 Обґрунтування переваг запропонованого методу деформуючого прошивання

Ефективним технологічним рішенням для досягнення заданих параметрів точності отворів є використання деформуючого прошивного інструменту. Поєднання процесів багатократного пластичного деформування в одному циклі забезпечує високу продуктивність і універсальність методу в широкому діапазоні виробничих потужностей. На сьогодні вдосконалення процесів прошивання відбувається через розширення їх технологічних меж, оптимізацію геометричних параметрів інструменту, застосування високоміцних матеріалів деформуючої частини із твердих сплавів, а також впровадження сучасних систем керування обробкою.

Впровадження деформуючого прошивання дозволяє успішно замінити багатостадійну обробку (розточування, розвертання, фінішне доведення) однією високопродуктивною операцією. Даний метод гарантує стабільне отримання заданих квалітетів точності та високу якість поверхневого шару. Експлуатаційна надійність процесу базується на тривалому ресурсі інструменту та технологічній простоті підготовки виробництва. Оскільки до прошивного інструменту висуваються жорсткі вимоги щодо розмірної точності, критично важливого значення набуває розробка оптимальних конструкцій збірних прошивок та науково обґрунтованої технології їх виготовлення. Результати численних досліджень та аналіз виробничої практики підтверджують, що деформуюче прошивання має низку суттєвих переваг порівняно з традиційними методами лезової обробки:

- покращення фізико-механічних властивостей поверхневого шару за рахунок збереження цілісності волокон: На відміну від різання, де відбувається перерізання кристалічної структури, пластична деформація зберігає безперервність волокон металу, що підвищує загальну конструкційну міцність деталі.

– процес прошивання гарантує формування стабільних залишкових напружень стиснення, що критично важливо для деталей, які працюють в умовах циклічних навантажень (як розглянутий картер ШВГУ 720 під дією гідравлічного тиску 20 МПа).

– зміцнення (наклеп) поверхневого шару оброблюваного отвору. Поєднання згладжування мікронерівностей поверхні зі зміцненням приповерхневого шару суттєво підвищує експлуатаційну надійність вузла.

Трибологічні та якісні показники можливо розглянути в контексті оптимізації мікрогеометрії. Метод деформуючого прошивання дозволяє досягти шорсткості в межах $Ra_{1,6...0,32}$ мкм, що є особливо ефективним для високоміцних чавунів типу ВЧ 500-2. Якщо розглядати зносостійкість, то формування профілю з великою відносною опорною довжиною поверхні покращує умови тертя, прискорює процес прироблення деталей та мінімізує знос у парі з ущільненнями.

Технологічна ефективність та автоматизація покращуються за рахунок високої продуктивності. Здатність знизити шорсткість на 4–6 класів за один робочий хід робить деформуюче прошивання одним із найефективніших методів фінішної обробки.

Надійність інструменту досягається за рахунок використання твердосплавних деформуючих елементів, що забезпечує тривалу стабільність розмірів та є необхідною умовою для автоматизації виробничого процесу.

Універсальність: Завдяки конструктивній простоті інструменту та легкості налагодження обладнання, метод може бути впроваджений на виробництвах будь-якого типу – від одиничного до масового.

Однак, попри високу ефективність, процес деформуючого прошивання має деякі технологічні обмеження та характеризується певними особливостями, які необхідно враховувати при проектуванні операції. Для досягнення високої точності (IT7 та вище) отвори потребують попередньої підготовки методами різання (чорнове розточування або зенкерування) для вирівнювання початкових похибок форми. Окрім того, потрібно враховувати ризик деформації корпусу

картера внаслідок застосування надмірних сумарних натягів на деформуючих елементах. Це може спричинити виникнення тріщин, поздовжнього вигину або роздування тонкостінних ділянок картера.

Технологічні переваги деформуючого прошивання.

Порівняльний аналіз показує, що прошивання (деформуюче протягування) значно перевершує традиційні методи механічної обробки за продуктивністю та якістю результату. У базовій технології для досягнення високої точності оброблюваного отвору (7-й квалітет) та низької шорсткості ($Ra=0,16\ldots0,63$ мкм) необхідно виконати три окремі операції:

- чорнове розточування;
- напівчистове розточування;
- чистове розточування.

Натомість деформуюче прошивання дозволяє замінити останню операцію на один робочий зворотно-поступальний хід прошивки. Висока швидкість обробки забезпечується двома факторами – великою площею деформуючих поверхонь, які послідовно обробляють метал та конструкцією інструменту, що виконує повний цикл обробки за один прохід.

Результат прошивання безпосередньо залежить від характеристик інструменту. Використання твердосплавних вигладжувальних та деформуючих елементів дозволяє стабільно отримувати мінімальну шорсткість ($Ra=0,63\ldots1,25$ мкм). Деформуюче прошивання забезпечує майже безвідходну технологію виготовлення отворів та дозволяє досягати високих фізико-механічних показників поверхневого шару. Крім шорсткості, деформуюче прошивання докорінно змінює структуру металу в зоні контакту. Процес супроводжується пластичною деформацією, що створює поверхневе зміцнення (наклеп) на поверхні отвору. Твердість поверхневого шару зростає на 150...200%. Ефект наклепу може поширюватись на глибину до 0,1 мм, що підвищує зносостійкість та втомну міцність деталі. Тому перехід від багатоетапного розточування до деформуючого прошивання не лише скорочує час виробництва, а й дозволить створювати деталі з покращеними експлуатаційними характеристиками за

рахунок поверхневого зміцнення металу. Цей метод дозволить отримати гарну геометрію та надміцну поверхню отвору за один рух, практично не залишаючи стружки.

1.3 Вдосконалений технологічний процес фінішної обробки наскрізного отвору $\varnothing 98^{+0,03}$ мм.

Аналіз технологічних баз показав, що для забезпечення співвісності та перпендикулярності отворів відносно торців картера, рекомендується наступна схема базування:

1) Установчою базою може бути плоска поверхня фланця (поверхня E1). Це дозволить зорієнтувати вісь отворів паралельно або перпендикулярно до основних площин:

2) Найкращим варіантом для напрямної та опорної бази є використання двох технологічних або кріпильних отворів на фланці (наприклад, отвори під болти M16) за схемою «площина – два пальці» (один циліндричний, один ромбічний). Однак в цьому випадку можуть виникати проблеми з базуванням, а саме – так як деталь має велику внутрішню порожнину (відстань між краями отворів 116 мм), то виникає високий ризик виникнення вібрацій при консольному закріпленні картера під час робочого ходу інструмента.

Переривчастий рух: Інструмент (прошивка) спочатку обробляє перший отвір, потім проходить крізь порожнечу довжиною 116 мм, і лише потім входить у другий отвір.

Ризик: Якщо інструмент не має достатньо довгої напрямної частини (пілота), при вході в другу стінку він може «відхилитися», що порушить допуск на співвісність (0,08 мм).

Рішення: Конструкція запропонованої вдосконаленої прошивки повинна мати передню та проміжну напрямні частини, які будуть базуватися по вже обробленому або чорновому отвору, забезпечуючи жорсткість переходу.

Висновок щодо технологічності

Деталь є технологічною для прошивання, але з певними зауваженнями:

– наявність фасок $1,6 \times 45^\circ$ на вході в отвір є позитивним фактором, який полегшує центрування інструменту. Для успішної чистової обробки наскрізного отвору $\varnothing 98^{+0,03}$ мм у картері з високоміцного чавуну (ВЧ 500-2) методом деформуючого прошивання, необхідно врахувати високу жорсткість матеріалу та вимоги до співвісності.

Вибір правої торцевої поверхні картера (фланця з 6-ма отворами) як головної установчої бази є найбільш раціональним, оскільки це забезпечує найбільшу площу контакту та стійкість деталі. Тому в якості установчої бази обираємо праву торцеву поверхню (фланець). Вона позбавляє деталь трьох ступенів вільностей (опорна база).

Напрямна/центрувальна база: Оскільки необхідно обробити два співвісні отвори зі збереженням їх центрування, найкращим рішенням буде використання самоцентрувального пристрою або базування за допомогою двох пальців (один циліндричний, один ромбічний) у два з шести кріпильних отворів на фланці. Для прошивання важливо, щоб вісь інструменту збігалася з віссю попередньо оброблених отворів. Оптимально використовувати плаваючу підвіску (патрон) для прошивки, щоб інструмент міг самостійно встановлюватися за віссю отвору, мінімізуючи вплив похибок базування на співвісність. Високоміцний чавун ВЧ 500-2 має значну пружність та схильність до наклепу. Тому, при деформуючому прошиванні (або дорнуванні) припуск визначається як величина загального натягу. Рекомендований припуск (на діаметр) для отвору $\varnothing 98$ мм по 7-му квалітету для оптимального сумарного натягу становить $0,08 \dots 0,15$ мм. Якщо прошивка має кілька деформуючих елементів (твердосплавних кілець), натяг буде розподілятися між ними. Після проходження прошивки отвір дещо «стиснеться» за рахунок пружно-пластичної деформації матеріалу картера. Для чавуну ВЧ 500-2 величина пружного відновлення може становити до $0,01 \dots 0,02$ мм, тому діаметр калібруючих елементів інструменту має бути більшим за номінал на цю величину.

Щоб обидва отвори були оброблені за один хід із збереженням їх центрування, прошивка повинна мати довгу напрямну частину. Формула для розрахунку повного робочого ходу прошивки $L_{\text{ход}}$ має наступний вигляд:

$$L_{\text{ход}} = L_{\text{вст}} + L_{\text{дет}} + L_{\text{пер}} + L_{\text{вих}}$$

де: $L_{\text{вст}}$ – довжина вступу: довжина передньої прямої частини прошивки повинна бути не меншою за відстань між двома стінками картера, щоб забезпечити центрування в обох отворах до початку деформації):

$L_{\text{дет}}$ – загальна довжина зони обробки: відстань від початку першої стінки до кінця другої стінки картера.

$L_{\text{пер}}$ – перебіг: вихід калібрувальної частини інструменту за межі останньої стінки (зазвичай він становить 20...50 мм);

$L_{\text{вих}}$ – додатковий хід: для безпечного зняття деталі або повернення інструменту у вихідне положення.

Важливим нюансом для двох отворів є те, що для збереження їх співвісності, передня пряма частина прошивки повинна зайти у другий отвір ще до того, як перший деформуючий елемент почне роботу в першому отворі. Це механічно вирівнює деталь відносно осі руху. Також, матеріал: ВЧ 500-2 потребує рясного змащення (наприклад МОР типу сульфозфрезол або спеціальні емульсії/пасти) через високий коефіцієнт тертя при пластичній деформації.

2 Конструкторська частина

2.1 Розробка конструкції прошивного твердосплавного інструменту для обробки співвісних точних отворів

Для обробки співвісних точних отворів у чавунному картері гідравлічного підсилювача запропоновано інструмент, який дозволяє обробити переривчасту поверхню отворів, не пошкоджуючи відсічних крайок канавок отвору (рис. 2).

Критерієм оцінки роботи інструменту є можливість одержання високого класу чистоти поверхні та геометричної форми отвору, передбачених технічними умовами і не нижче, ніж після чистового розточування, а саме:

1. Шорсткість поверхні не гірша за $Ra=1,6$ мкм;
2. Овальність не більше 0,02 мм;

Розробка представленого на рис. 4 конструктивного варіанту прошивки, відбувалась з урахуванням наступних умов:

1) Для забезпечення якомога більшої продуктивності праці на операції прошивання, довжина прошивки, та відповідно, кількість її робочих деформуючих елементів повинна бути мінімальною.

2) В той же час, кількість деформуючих елементів прошивки повинна бути мінімальною, але такою, щоб забезпечити високу якість оброблених отворів.

Згідно рис. 4 блок №1 прошивки складається з трьох деформуючих елементів у вигляді твердосплавних кілець, робочі поверхні яких мають вид конуса. Як показали результати численних експериментів [2-11], саме така кількість деформуючих елементів блоку №1 є такою, що забезпечує якісне центрування оброблюваного отвору відносно осі інструмента та створює попереднє зміцнення поверхневого шару, що буде оброблятися надалі.

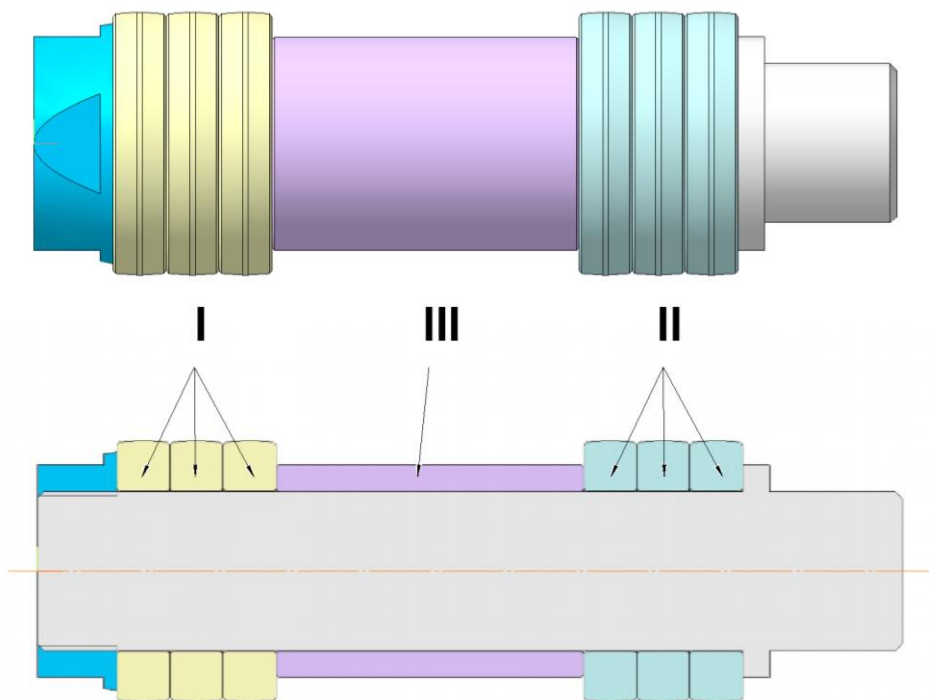


Рисунок 4 – Схема прошивки

Якщо включити в деформуючу групу №1 більш ніж три деформуючі елементи, то це дещо збільшує ступінь та глибину зміцненого поверхневого шару. Однак подібний варіант не є бажаним внаслідок видовження робочої частини прошивки, і, отже, зниження її продуктивності. Якщо застосувати тільки одинарний деформуючий робочий елемент, то цьому випадку не можна гарантувати зміцнення поверхневого шару. Це пояснюється коливаннями діаметральних розмірів оброблюваних отворів у межах припуску та погрішностями форми отвору. Деформуючий елемент блоку №1 призначений в основному для центрування оброблюваного отвору деталі відносно осі інструмента. В такому випадку, під час порівняння з іншими робочими деформуючими елементами, такий елемент має більшу довжину робочого конуса. Вона визначається з урахуванням погрішностей діаметрів оброблюваних отворів та погрішностей базування деталі на опорному фланці. Для того, щоб забезпечити гарантований натяг на деформуючий блок №1, зовнішній діаметр першого робочого деформуючого елемента необхідно прийняти таким, щоб він був рівним максимальному діаметру оброблюваного отвору. В такому випадку фактичний натяг a_{ϕ} на перший деформуючий елемент може змінюватися в діапазоні погрішностей діаметрального розміру отвору деталі. Щоб створити високі контактні напруження зовнішніх шарів оброблюваної поверхні, номінальний натяг на другий деформуючий елемент блоку №1 (див. рис. 4) складає 0,05 мм. При цьому зовнішній діаметр другого деформуючого елемента дорівнює 98,0 мм.

Згідно рис. 4 за блоком №1 розташовано дистанційну втулку ІІІ, яка забезпечує необхідну відстань між деформуючими блоками. Друга деформуюча група (блок №2) складається із трьох робочих деформуючих елементів, а номінальний натяг на кожний елемент дорівнює 0,05 мм. Коли призначають кількість робочих деформуючих елементів цієї групи та величини номінального натягу на кожен деформуючий елемент, то виходять з необхідності забезпечення пластичної деформації, яка була б мінімальною. Це необхідно для того, щоб унеможливити роздачу картера по зовнішньому діаметру та погіршення форми

отвору. В той же час, деформація повинна бути достатньою для отримання найбільш гладкого мікрорельєфу обробленої поверхні та зміцнення її матеріалу до граничного ступеню.

З погляду забезпечення мінімальних сил протягування та отримання точної форми отвору оптимальний кут твірної робочого конуса деформуючих елементів складає 4° . В такому випадку, щоб виготовлення для всіх деформуючих елементів запропонованої прошивки було якомога більш технологічним, то кут твірної робочого конуса всіх елементів приймається рівним 4° .

Під час виконання операцій прошивання виконавчий орган верстата (в нашому випадку - гідравлічного преса), зазвичай виконує робочий та зворотний (холостий) ходи. В такому випадку прошивання, коли інструмент проходить скрізь отвір оброблюваної деталі, зворотний конус робочих деформуючих елементів протяжки в результаті виникнення позаконтактної зони деформації не має контакту з оброблюваним матеріалом й тому не деформує його. Тому вибір геометрії зворотних конусів деформуючих елементів не викликає уваги проектувальників. Тому, з метою можливості заміни в процесі роботи прошивки зношених робочих конусів на зворотний, а також підвищення технологічності виготовлення деформуючих елементів, кути робочих та зворотних конусів обирають однаковими.

При виконанні холодного ступінчастого деформування круглих отворів у деталях із високоміцного чавуну, незалежно від величини сумарної деформації, натягів на деформуючий робочий елемент та геометрії інструмента, товщини стінки оброблюваних деталей, завжди має місце пружне відновлення деталі [2,6,9]. Тому при деформуючому прошиванні деталей із високоміцного чавуну необхідно враховувати цей ефект та обирати відповідні розміри деформуючих елементів. Якщо прийняти кути зворотного та робочого конусів деформуючих елементів рівним, то площа контакту при взаємодії зворотного конуса з оброблюваною поверхнею буде дорівнює тієї частини площі контакту робочого конуса, яка виконує деформування деталі в області пружних деформацій. В такому випадку, під час зворотного руху прошивки внаслідок взаємодії

зворотного конуса з оброблюваною поверхнею будуть виникати тільки пружні деформації. Як показали результати експериментів [2,9], при цьому суттєвих змін з оброблюваним матеріалом не відбувається. Про це свідчить рівність діаметрів оброблюваного та обробленого отвору, а також подібність шорсткостей обробленої поверхні до та після прошивання інструментом при зворотному русі.

У випадку, якщо кут твірної зворотного конуса робочих деформуючих елементів є більшим ніж кут твірної робочого конуса, то взаємодія зворотного конуса з оброблюваною поверхнею отвору при зворотному русі інструмента відбувається по значно меншій площі контакту, ніж при рівності кутів у діапазоні $2...4^\circ$. Якщо площа контакту деформуючого елемента зменшується, то це відповідно призведе до росту контактних тисків на оброблювану поверхню та, відповідно, до більшої деформації мікронерівностей

Якщо обрати значення кута α меншим зазначеного діапазону, то це не викликає появи помітної пластичної деформації внаслідок недостатнього збільшення значень контактних тисків. Вибір значень кута більше рекомендованого діапазону може привести до лущення та подальшого псування обробленої поверхні.

Прошивання отвору картера гідравлічного підсилювача можливо здійснювати на обладнанні типу спеціального гідравлічного преса моделі П6302Б. В якості технологічного змащення рекомендується застосовувати 5%-ву емульсію, яку подають в зону обробки методом поливу під невеликим тиском. Така конструкція прошивки показує достатні результати за продуктивністю обробки та забезпечує задану точність форми отвору.

Операція прошивання виконується замість чистової операції розточування, передбаченої базовим технологічним процесом. Загальний вигляд 3D моделі прошивки показано на рис. 5.

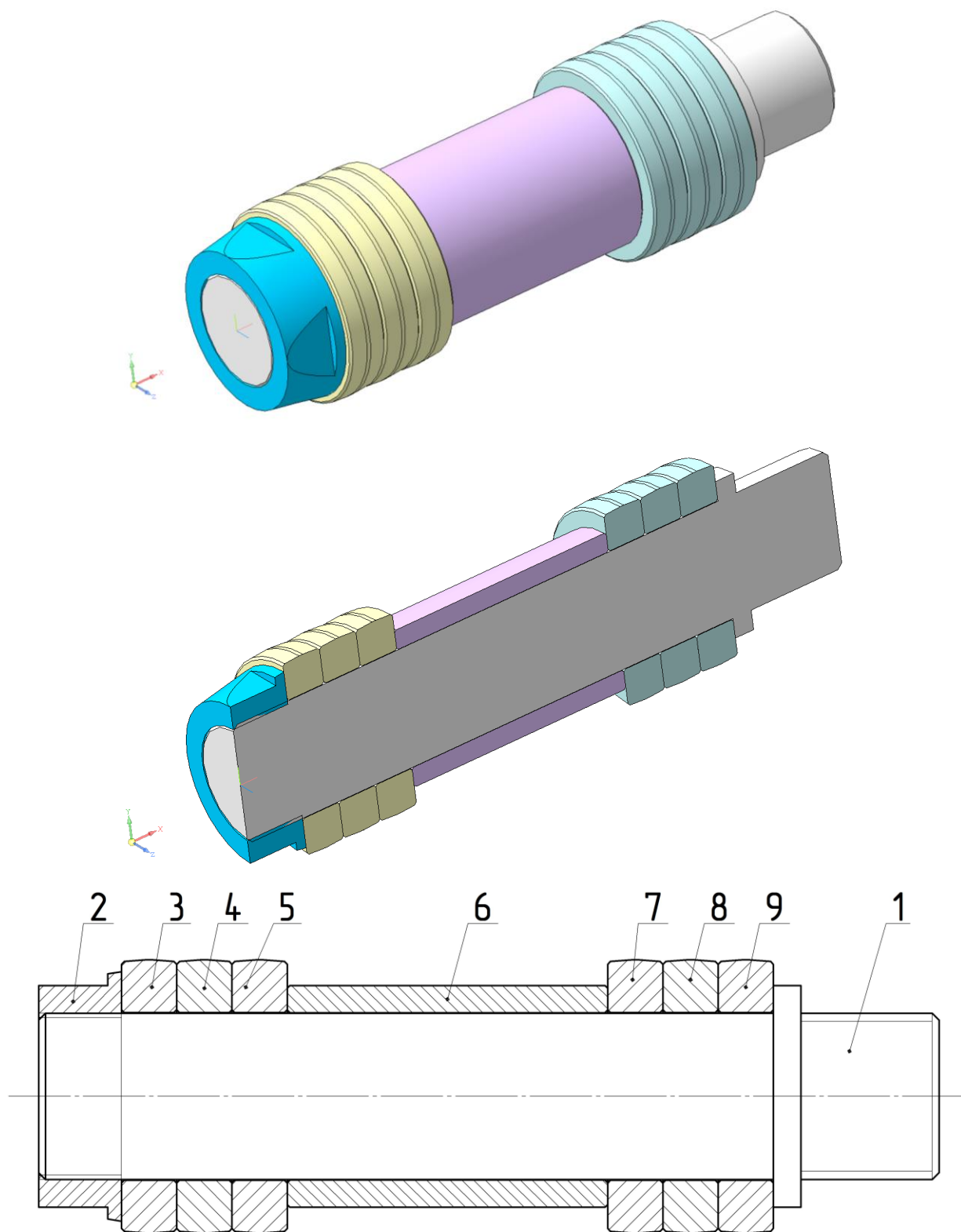


Рисунок 5 – Деформуюча прошивка

Прошивка складається з декількох елементів: оправки із різьбовим хвостовиком 1 та стяжної гайки 2, деформуючого блока №1 з трьох елементів 3,4 та 5, дистанційної втулки 6, деформуючого блока №2 з трьох елементів 7, 8 та 9.

Оправка представляє з себе ступінчастий вал із конструкційної сталі, на котрому з обох боків нарізана різь. Один різьбовий кінець валу М60 довжиною 30 мм служить для накручування кріпильної гайки, котра забезпечує тісне спраження елементів на оправці. Протилежний різьбовий кінець оправки довжиною 50 мм служить для закріплення у штоку гідравлічного преса моделі П6302Б, який оснащений однією стійкою з індивідуальним приводом та здатен розвивати зусилля до 100 кН. Дистанційна втулка 6 забезпечує вільний наскрізний прохід прошивки через два співвісні отвори, що послідовно обробляються за один поступальний та зворотний проходи інструмента.

2.2 Вибір геометрії робочих елементів прошивки та твердого сплаву для їх виготовлення

За [11] приймаємо для виготовлення деформуючих елементів твердий сплав марки ВК15. З точки зору забезпечення мінімальної сили протягування і точності форми отвору оптимальним кутом твірної робочого конуса деформуючого елемента є $\alpha=4...6^\circ$. Тому для всіх деформуючих елементів протяжки, що розробляється, кут твірної конуса приймаємо рівним 4° .

Технологічне обґрунтування однакових кутів ($\alpha_{роб}=\alpha_{зв}=4^\circ$). Однаковий кут дозволяє перевертати зношене кільце на оправці, використовуючи колишній зворотний конус як робочий. Це вдвічі збільшує ресурс кошовного твердосплавного інструменту.

Пружне відновлення: Оскільки високоміцний чавун має високий модуль пружності, після проходження робочого конуса отвір дещо «стискається» (пружне відновлення). При однакових кутах зворотний конус буде контактувати з поверхнею лише в зоні пружних деформацій. Це забезпечує стабільність розміру без ризику додаткового пластичного перерозподілу металу на зворотному русі

Зниження собівартості за рахунок меншої кількості типорозмірів шліфувальних кругів та часу на переналагодження обладнання при виготовленні прошивки.

Таблиця 2

Параметр	Різні кути ($\alpha_{зв} > \alpha_{роб}$)	Однакові кути ($\alpha_{зв} = \alpha_{роб} = 4^\circ$)
Виготовлення	Складніше (потрібне переналагодження)	Максимальна технологічність
Ефект при зворотному русі	Додаткове вигладжування мікронерівностей	Забезпечення каліброваного розміру
Ресурс інструменту	Обмежений однією стороною	Можливість реверсу кілець
Якість поверхні	Ra0,32...0,4 мкм	Ra0,63...0,8 мкм

При однакових кутах конусів розрахунок із рівномірним кроком 0,12 мм залишається актуальним і навіть стає більш безпечним. Процес буде виглядати наступним чином:

Під час прямого руху прошивки відбувається рівномірне ступінчасте розширення отвору з розміру $\varnothing 97,3$ мм до $\varnothing 98^{+0,03}$ мм. Кожен елемент здійснює деформацію оброблюваної поверхні на свою частку припуску, тим самим формуючи зміцнений шар.

Під час зворотного руху прошивки, за рахунок ідентичності кутів робочого конуса деформуючих елементів, інструмент виходить з отвору практично без опору, лише злегка торкаючись стінок за рахунок пружного-пластичного натягу. Це виключає задири та пошкодження відсічних крайок канавок картера ШВГУ 720.

Вибір однакових кутів робочого конуса деформуючих елементів обумовлений саме підвищенням технологічності виготовлення та забезпеченням ремонтпридатності прошивки в умовах серійного виробництва.

2.3 Розрахунок на міцність твердосплавних деформуючих елементів

Розрахунок деформуючих елементів на міцність буде виконуватись за методикою, що розроблена авторами [9,11]. Для цього будемо вважати твердосплавний деформуючий елемент симетрично навантаженим. Особливістю деформуючого елемента симетрично навантаженої форми є те, що зони контакту елемента з оброблюваною поверхнею знаходяться на рівних відстанях від його торців, а висота цього елемента обрана із умови його рівномірності на гнуття та стискання. Деформуючий елемент такої форми, якщо він має симетричну висоту, визначається найбільшою несучою здатністю при найменшій витраті матеріалу на його виготовлення. Розрахунок твердосплавних деформуючих елементів симетрично навантаженої форми виконується з метою визначення їх розмірів: товщини стінки, висоти, кутів робочого та зворотного конусів, ширини циліндричної стрічки та її відстані від торцю при відомих умовах протягування та знаходження значення сили протягування, допустимої міцності деформуючого елемента, що має такі розміри. Розрахунок виконується в наступній послідовності:

Вихідні дані для розрахунку:

Зовнішній діаметр елемента: $D_K=98$ мм;

Діаметр отвору елемента (конструктивно): $d_k=60$ мм (виходячи з діаметра оправки);

Сила протягування (орієнтовно для $\varnothing 98$ мм): $Q=45000$ Н;

Матеріал: Твердий сплав ВК15 (межа міцності $\sigma_{из.в.ст.}=1470$ МПа);

Кут робочого конуса: $\alpha=4^\circ$;

Фактичний натяг на елемент: $a_\phi=0,12$ мм.

1) Визначаємо товщину стінки деформуючого елемента:

$$t_k = 0,329 \cdot \frac{Q^{0,735} \cdot K_L \cdot 0,938^l}{f^{0,43} \cdot [\sigma_{из}]^{0,735} \cdot D_K^{0,36}} \quad (2.2)$$

де Q – сила протягування;

K_L – коефіцієнт висоти деформуючого елемента (відношення фактичної висоти (рис. 6) деформуючого елемента до його оптимальної висоти L_{opt} , значення якого приведено в [9]);

l – фактична ширина контакту робочої поверхні елемента з оброблюваною поверхнею, яка залежить від діаметра отвору d_0 та товщини стінки t_0 деталі до обробки, а також від величини фактичного натягу a_ϕ , значення обираємо із [9];

f – коефіцієнт тертя при деформуючому протягуванні;

$[\sigma_{из}]$ – допустиме напруження на згин для твердого сплаву;

D_K – зовнішній діаметр деформуючого елемента (див. рис. 6), приймаємо конструктивно.

Допустиме напруження на згин для твердого сплаву визначаємо за формулою

$$[\sigma_{из}] = \frac{\sigma_{из.б.} \cdot K_{П.С.}}{K_{з.П.}} \quad (2.3)$$

де $\sigma_{из.б.}$ – фактична межа міцності твердого сплаву на згин;

$$\sigma_{из.б.} = 4,62 \cdot D_K^{-0,36} \cdot t_k^{-0,45} \cdot \sigma_{из.б.ст.} \quad (2.4)$$

де $\sigma_{из.б.ст.}$ – межа міцності твердого сплаву на згин, який визначено ДСТУ;

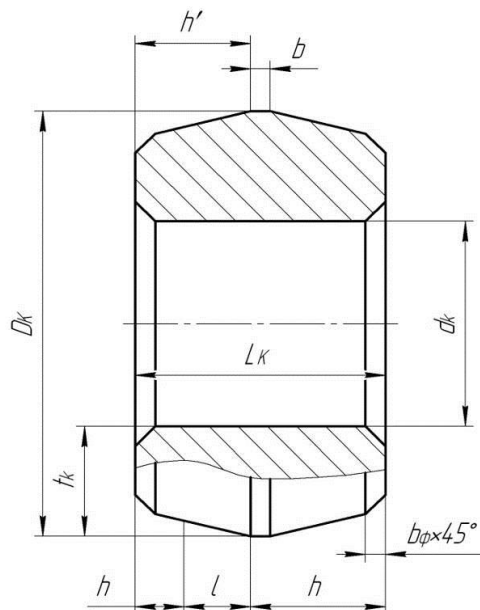


Рисунок 6 – Схема до розрахунку на міцність твердосплавного деформуючого елемента симетрично навантаженої форми

Прийmemo попередньо товщину стінки $t_k=19$ мм (для $D=98$, $d=60$).

$$\sigma_{из.в.}=4,62 \cdot 98^{-0,36} \cdot 19^{-0,45} \cdot 1470 \approx 0,485 \text{ ГПа.}$$

$K_{п.с.}$ – коефіцієнт, що залежить від посадки деформуючого елемента на оправку протяжки;

Розрахуємо коефіцієнт посадки $K_{п.с.}$ за формулою (2.5) при зазорі $\Delta=-0,03$ мм:

$$K_{п.с.} = 1,1 \cdot d_k^{0,33} \cdot t_k^{-0,42} \cdot e^{\frac{310 \Delta^{1,1}}{d_k}} \cdot K_\phi \quad (2.5)$$

де d_k – діаметр отвору деформуючого елемента (див. рис. 2.6), приймаємо конструктивно;

e – основа натурального логарифма;

Δ – зазор або натяг між поверхнею отвору деформуючого елемента і оправкою протяжки, при натягу має додатній знак, а при зазорі – від’ємний;

K_ϕ – коефіцієнт форми отвору деформуючого елемента.

$$K_{п.с.} = 1,1 \cdot 60^{0,33} \cdot 19^{-0,42} \cdot e^{\frac{310 \cdot (-0,03)^{1,1}}{60}} \cdot 1 \approx 0,68$$

$K_{п.с.}=0,68$; приймаємо $K_{п.с.}=0,68$

При визначенні $\sigma_{из.в.}$ та $K_{п.с.}$ у формулі 2.4 та 2.5 підставляємо товщину стінки елемента, обрану конструктивно та рівну 19 мм.

$K_{з.п.}$ – коефіцієнт запасу міцності, визначається із [].

$$K_{з.п.} = 2,2;$$

$$[\sigma_{из.в.}] = (0,485 \cdot 0,68) / 2,2 \approx 0,150 \text{ ГПа.}$$

За формулою 2.2 визначаємо товщину стінки деформуючого елемента

$$t_k = 0,329 \cdot \frac{45000^{0,735} \cdot 1,2 \cdot 0,938^{1,6}}{0,1^{0,43} \cdot (0,150 \cdot 10^9)^{0,735} \cdot 98^{0,36}} \approx 17,8 \text{ мм}$$

Порівнюємо отримане значення $t_k=17,8$ мм та прийняте конструктивно $t_k=19$ мм. Їх різниця не перевищує 1,2 мм, тому приймаємо первісне значення $t_k=19$ мм.

Знаходимо висоту деформуючого елемента.

$$L_K = K_L \cdot \left[\frac{l}{2} \cdot \sqrt{\frac{l^2}{4} + \frac{8 \cdot \nu \cdot R_k \cdot W}{\pi \cdot (R_k^2 - r_k^2)}} \right], \quad (2.6)$$

де R_k і r_k – відповідно зовнішній радіус і радіус отвору деформуючого елемента.

$$R_k = \frac{D_k}{2} = \frac{98}{2} = 49 \text{ мм};$$

$$r_k = \frac{d_k}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ мм};$$

ν – відношення межі міцності твердого сплаву при згині до межі міцності при стиску, для ВК15 $\nu = 0,54$;

W – момент опору згину деформуючого елемента в перерізі перпендикулярному до вісі, мм^3 . Значення W знаходимо за формулою:

$$W = \frac{9 \cdot (R_k^4 - r_k^4) \cdot (R_k^2 - r_k^2) - 8 \cdot (R_k^3 - r_k^3)^2}{12 \cdot (R_k^3 - r_k^3) - 18 \cdot (R_k^2 - r_k^2) \cdot r_k} \cdot \pi, \quad (2.7)$$

$$W = \frac{9 \cdot (49^4 - 30^4) \cdot (49^2 - 30^2) - 8 \cdot (49^3 - 30^3)^2}{12 \cdot (49^3 - 30^3) - 18 \cdot (49^2 - 30^2) \cdot 30} \cdot 3,14 = 18450 \text{ мм}^3.$$

Визначимо висоту деформуючого елемента за формулою 2.6

$$L_K = 1,2 \cdot \left[\frac{1,6}{2} \cdot \sqrt{\frac{1,6^2}{4} + \frac{8 \cdot 0,54 \cdot 50,75 \cdot 18450}{3,14 \cdot (49^2 - 30^2)}} \right] = 18,4 \text{ мм}.$$

Визначимо мінімальну допустиму (з конструктивних міркувань) висоту $L_{\kappa.\partial}$ деформуючого елемента:

$$L_{\kappa.\partial} = \frac{a_\phi}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} + b + 2 \cdot (b_{\text{фас}} + c), \quad (2.8)$$

де b – ширина циліндричної стрічки, $b = 0,8 \text{ мм}$;

α – кут робочого конуса, $\alpha = 4^\circ$;

$b_{\text{фас}}$ – ширина фаски, $b_{\text{фас}} = 0,8 \text{ мм}$;

c – неробоча ділянка робочого конуса, що дорівнює довжині зворотного конуса, $c = 2,5 \text{ мм}$.

$$L_{\kappa.\partial} = \frac{0,12}{2 \cdot \operatorname{tg} 4^0} + 0,8 + 2 \cdot (0,8 + 2,5) = 8,25 \text{ мм.}$$

Умова міцності виконується, так як мінімально допустима висота $L_{\kappa.\partial}$, менша, ніж розрахована висота деформуючого елементу.

Мінімальна відстань h' (див. рис. 6) від торця деформуючого елементу до циліндричної стрічки:

$$h' = \frac{L'_{\kappa.\partial} + l}{2}, \quad (2.9)$$

де $L'_{\kappa.\partial}$ – прийнята з умови міцності та конструктивних міркувань висота деформуючого елементу.

$$L'_{\kappa.\partial} \geq L_{\kappa.\partial}$$

$$h' = \frac{19 + 1,6}{2} = 10,3 \text{ мм.}$$

Приймаємо за конструктивним міркуванням: $h' = 10 \text{ мм}$. Приведений розрахунок дає гарантію, що деформуючий елемент, який має знайдені значення геометричних розмірів, задовольняє вимоги міцності на згин та стиск.

2.4 Розрахунок на міцність різьбового з'єднання

У конструкції протяжки для фінішної обробки отворів у гальмовому циліндрі передбачено два різьбових з'єднання: хвостовика з оправкою протяжки (хвостовик–оправка) та оправки з гайкою (оправка–гайка) (див. рис. 7)

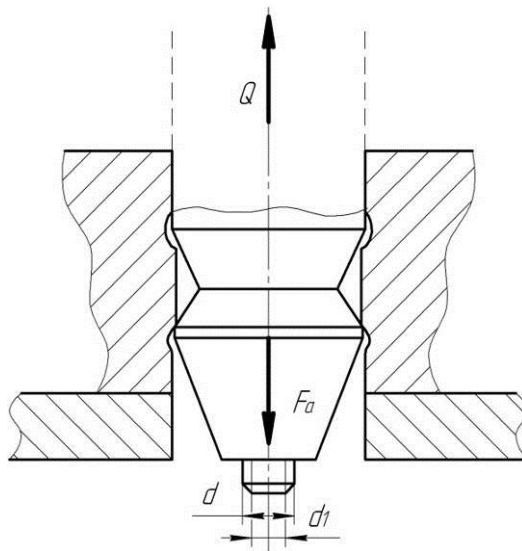


Рисунок 7 – Схема сил, що діють у різьбовому з'єднанні «оправка-гайка»

Розміри обох різьб М60х2-6g, відповідно у з'єднаннях «хвостовик–оправка» та «оправка–гайка».

При робочому ході штока преса різьбове з'єднання «хвостовик–оправка» працюють на стиск, а з'єднання «оправка–гайка» в цьому випадку не навантажене. При зворотному русі штока обидва різьбових з'єднання працюють на розтяг.

Розрахунок на міцність буде виконуватись для різьбового з'єднання «оправка–гайка». Якщо це з'єднання буде відповідати вимогам міцності, то розрахунок другого з'єднання виконувати не має потреби. Розрахунок буде проводитись на розтяг різьбового кінця оправки та зминання різі.

При розрахунку різьбового з'єднання оправка-гайка будемо розглядати його у напруженому стані, тобто з попереднім затягуванням. При затягуванні гайки, в оправці виникає зусилля розтягу та зусилля скручування. При спрощеному розрахунку напруженого з'єднання розраховуємо на розтяг, скручування враховуємо збільшенням осьової сили розтягу на 10%.

Проектний розрахунок різьбового з'єднання, навантаженого осьовою статичною силою проведено по наступній методиці.

Умова міцності оправки:

$$Q_p = [\sigma_p] \cdot \frac{\pi \cdot d_1}{4}, \quad (2.10)$$

звідкіля

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot [\sigma_p]}}, \quad (2.11)$$

де Q_p – розрахункове осьове зусилля, Н;

$[\sigma_p]$ – допустиме напруження розтягу, $\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$;

d_1 – внутрішній діаметр різьби, мм.

$$Q_p = 4 \cdot 10^3 \cdot 1,1 = 4 \cdot 10^3$$

$$[\sigma_p] = 0,23 \cdot \sigma_m = 0,23 \cdot 360 = 82,8$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 150 \cdot 10^3}{3,14 \cdot [82,8]}} = 48,5 \text{ мм}$$

Таким чином різьба М60 буде достатня для даного з'єднання.

Розрахунок на міцність різьбового з'єднання при змінних навантаженнях проводимо по амплітуді циклу та по найбільшій напрузі циклу.

Умова міцності по амплітуді циклу:

$$n_a = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \cdot \sigma_a} \geq [n_a], \quad (2.12)$$

де n_a – дійсний запас міцності по амплітуді;

$[n_a]$ – допустимий запас міцності;

σ_{-1} – межа витривалості при розтягу матеріалу гладкого зразку при симетричному циклу; $\sigma_{-1} = 240 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$;

K_σ – ефективний коефіцієнт концентрації напружень; $K_\sigma = 3,5$;

σ_a – амплітуда змінних напружень.

$$\sigma_a = \frac{\chi \cdot Q}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}}, \quad (2.13)$$

де χ – коефіцієнт зовнішнього навантаження, $\chi = 0,05$.

$$\sigma_a = \frac{0,05 \cdot 150000}{2 \cdot \frac{3,14 \cdot 60^2}{4}} = 1,327;$$

$$n_a = \frac{240}{3,5 \cdot 1,327} = 51,68 > 2,5 = [n_a].$$

Умова міцності по амплітуді циклу виконується.

Перевірка умови міцності по найбільшому напруженні циклу.

$$n = \frac{\sigma_m}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma_m}{\sigma_o + 2 \cdot \sigma_a} \geq [n], \quad (2.14)$$

де n – дійсний коефіцієнт запасу міцності по максимальному навантаженню;

σ_m – межа текучості матеріалу;

σ_o – напруження від початкового зтягування;

$[n]$ – допустимий коефіцієнт, запасу міцності по максимальним напруженням.

$$\sigma_o = \frac{4 \cdot Q_o}{\pi \cdot d_1^2} \leq [\sigma_o], \quad (2.15)$$

$$Q_o = Q \cdot K, \quad (2.16)$$

$$K = 1,3$$

$$Q_o = 150000 \cdot 1,3 = 195000 \text{ Па}$$

$$[\sigma_o] = 0,65 \cdot \sigma_m = 0,65 \cdot 360 = 234 \text{ МПа}$$

$$\sigma_m = 360$$

$$\sigma_o = \frac{4 \cdot 195000}{3,14 \cdot 60^2} = 69 < 234 = [\sigma_o]$$

$$n = \frac{360}{69 + 2 \cdot 1,4} = 5,014 > 1,25 = [n]$$

Таким чином, міцність по найбільшій напрузі циклу забезпечена.

2.5 Організація робочого місця

Організація робочого місця відповідає вимогам ГОСТ 12.2.033-80.

Біля верстата передбачений стелаж, тумбочка, для розміщення різних інструментів, альбом технологічної документації. На підлозі, по всій довжині верстата, передбачена дерев'яні ґрати шириною 0,6 м від найбільш виступаючих частин верстата.

Для керування верстатом установлений пульт, що перебуває в моторному полі (зона 1). На пульті є кнопки «пуск» дворучного включення з відстанню між ними 300 мм. На пульті передбачена кнопка «стоп» грибоподібної форми збільшених розмірів червоного кольору.

Органи керування, позначені назвами або символами відповідно ГОСТ 12.4.40-80.

Для сигналізації про хід виконання технологічної операції використовуються світлофільтри червоних, чорних, жовтих, зеленого, синього й білих кольорів.

ВИСНОВКИ

1. В представленій кваліфікаційній роботі проведений аналіз існуючого технологічного процесу обробки отворів $\varnothing 80^{+0,03}$ мм у деталі картер гідравлічного підсилювача рульового керування ШВГУ 720;
2. Запропоновані заходи по раціоналізації та підвищенню ефективності технологічного процесу за рахунок введення операції деформуючого прошивання замість чистового розточування;
3. Виконано розробку компоновки збірної деформуючої прошивки з робочими елементами із твердого сплаву ВК8;
4. Проведений комплекс робіт по підбору обладнання, інструменту та верстатних затискних пристосувань;
5. Розроблено конструкцію та вимоги до застосованого інструменту, а також до затискного пристосування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. КУЛЬКОГВИНТОВИЙ ГІДРОПІДСИЛЮВАЧ ШВГУ 720. Настанова щодо експлуатування УЯИШ.453461.006 РЭ ПАТ «НВП «Радій» Кропивницький 2019 р.
2. Механіка комбінованого протягування графітовмісних чавунів [Текст] : монографія / Е. К. Посвятенко [та ін.] ; за ред. проф. Е. К. Посвятенка ; Кіровоград. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : Лисенко В. Ф. [вид.], 2017. - 286 с. : рис. - Бібліогр.: с. 271-284. - 300 прим. - ISBN 978-617-7197-65-1
3. Немировский Я.Б. Влияние условий базирования на точность деталей, обработанных деформирующим протягиванием [Текст] / Я.Б. Немировский // Вісник Тернопільського національного технічного університету: Наук. журнал. – Тернопіль, ТНТУ, 2014. – №3 (75).– С.144-157
4. Немировский Я.Б. Технологическое обеспечение точности при обработке отверстий деформирующим протягиванием [Текст] / Я.Б. Немировский // Резание и инструмент в технологических системах: междунар. науч.-техн. сб. – Харьков : НТУ Украины «ХПИ», 2013. – Вып. 83. – С. 195–207
5. Немировский Я.Б. Особенности деформирующего протягивания разнотолщинных заготовок [Текст] / Я.Б. Немировский // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. пр. / Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Кіровоград, 2013. – Вип. 26. – С. 135–142.
6. Підвищення ефективності обробки отворів у деталях із чавунів комбінованим протягуванням [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Єрємін Павло Миколайович ; Кіровоград. нац. техн. ун-т. - Кіровоград, 2015. - 21 с.
7. Nemirovskyy Ya. Issues about limit plastic deformations of deforming of cast iron parts [Text] / Ya. Nemirovskyy, O. Chernyavskyy, P. Yeryomin, Yu. Tsekhanov // Scientific Journal of the Ternopil National Technical University. – №1(81).– Ternopil, TNTU, 2016.– pp. 88-97

8. Немировский Я.Б. Особенности расчета усадки отверстий при деформирующем протягивании деталей из чугуна [Текст] / Я.Б. Немировский, А.В. Чернявский, П.Н. Еремин // Високі технології в машинобудуванні: міжун. науч.- техн. сб. – Харків: НТУ України «ХПІ», 2014. – Вип. 1(24). – С.109-121
9. Чернявський О.В. Обробка круглих отворів протягуванням. Навч. посібник для ВНЗ. – Кіровоград, 2008 – 72 с.
10. Немировский Я.Б. Особенности обработки гильз ДВС деформирующим протягиванием [Текст] / Я.Б. Немировский, А.В. Чернявский // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. пр. / Кіровогр. нац. техн. ун-т. – Кіровоград, 2004. – Вип. 15. – С. 425–432.
11. Розенберг О. А. Особенности использования комбинированного протяжного инструмента для обработки внутренних полостей крупных чугунных цилиндров / О. А. Розенберг, С. Ф. Студенец, В. В. Мельниченко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ ім В. Н. Бакуля НАН України, 2008. – Вип. 11, С. 428-433
12. Годунко М.О. Основи 3D моделювання і робототехніки: Навч. посіб. для проведення практичних занять / М.О. Годунко, А.І. Гречка. – К. : 7БЦ, 2024. – 42 с.
13. Мажара В.А. Система автоматизованого проектування технологічного оснащення / В.А. Мажара, К.К. Щербина, А.М. Артюхов, С.А. Тененика, І.С. Шестаков // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.
14. Підвищення ефективності обробки отворів корпусних деталей із чавуну деформуючим протягуванням / С. Заїка, А. Заїка, О. Лисенко, Я. Скібінський // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький: ХНУ, 2025. – № 5.1 (357). – С. 167-174.
<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-357-20>

ДОДАТОК А

[illegible]