

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

«Допущено до захисту»  
Завідувач кафедри ММіР  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

## **«Вдосконалення конструкції протяжного інструменту для деформуючого протягування гільз двигунів внутрішнього згорання»**

Виконав здобувач вищої освіти 4 курсу  
групи ПМ(ТМ)-21  
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг  
технологій, робототехніка і 3D-друк»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
\_\_\_\_\_ Назар КІГЛЮК

Керівник роботи к.т.н., ст. викладач  
\_\_\_\_\_ Павло ЄРЬОМІН

Рецензент: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Кропивницький 2025

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

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

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

Кіглюку Назару Максимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вдосконалення конструкції протяжного інструменту для деформуючого протягування гільз двигунів внутрішнього згоряння

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

3. Строк подання роботи до захисту « \_\_\_\_ » червня 2025 р.

Затверджено наказом ЦНТУ від \_\_\_\_\_ 2025 року № \_\_\_\_\_

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

*Метою* роботи є вдосконалення заводського технологічного процесу механічної обробки деталі гільза двигуна внутрішнього згоряння автомобіля ЗИЛ-130, зниження трудомісткості виготовлення деталі, підвищення продуктивності праці, зменшення собівартості продукції.

*Завдання:*

здійснити аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі гільза двигуна внутрішнього згоряння автомобіля ЗИЛ-130, запропонувати заходи по раціоналізації та підвищенню ефективності технологічного процесу; провести комплекс робіт по підборі обладнання, протяжного інструменту, верстатних затискних пристосувань, розрахувати припуски та режими різання; розробити конструкцію та вимоги до протяжного 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 2025 р.	вик.
2	Виконання загальної частини	30 квітня 2025 р.	вик.
3	Виконання технологічної частини	10 травня 2025 р.	вик.
4	Виконання конструкторської частини	20 травня 2025 р.	вик.
5	Розробка креслеників	30 травня 2025 р.	вик.
6	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	5 червня 2025 р.	вик.
7	Перевірка роботи на академічний плагіат	червня 2025 р.	вик.
8	Рецензування роботи	червня 2025 р.	
9	Захист кваліфікаційної роботи	червня 2025 р.	

Дата видачі завдання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Назар КІГЛЮК  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Павло ЄРЬОМІН  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Назар Кіглюк. Вдосконалення конструкції протяжного інструменту для деформуючого протягування гільз двигунів внутрішнього згорання. Кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «бакалавр»: ЦНТУ, м. Кропивницький, 2025 р. – 46 с. Матеріали презентації – креслення загальним обсягом 3,5 л. ф. А1.

**Метою** роботи є вдосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі гільза двигуна внутрішнього згорання автомобіля ЗИЛ-130, зниження трудомісткості виготовлення деталі, підвищення продуктивності праці та зменшення собівартості продукції.

Вдосконалення досягається шляхом всебічного аналізу базового технологічного процесу і визначення його слабких місць і недоліків. Аналізу у роботі також піддається конструкція деталі, матеріал, спосіб отримання заготовки. У технологічній частині здійснюється підбір обладнання, інструментального забезпечення, виконується розрахунок припусків та режимів обробки. У конструкторській частині розроблена конструкція протяжного інструмента та затискного пристосування.

**Актуальність.** Розробка вдосконаленого технологічного процесу та протяжного інструменту для обробки внутрішньої порожнини гільз циліндра двигуна внутрішнього згорання ЗИЛ-130 є актуальною практичною задачею, з огляду на широке застосування цих двигунів у вантажних автомобілях для приватних, комунальних підприємств та військових підрозділів.

**Практичне значення.** У роботі було виконано аналіз базового заводського технологічного процесу та розроблено раціоналізаторську пропозицію щодо вдосконалення технологічного процесу виготовлення деталі гільза двигуна внутрішнього згорання автомобіля ЗИЛ-130, яка входить до складу циліндро-поршневої групи. Також представлено розроблену конструкцію протяжного інструменту та затискного пристрою для обробки гільз.

**Ключові слова:** технологічний процес, гільза, двигун внутрішнього згоряння, протяжка, механічна обробка.

## ABSTRACT

Nazar Kigliuk. Improvement of the design of a drawing tool for deforming drawing of internal combustion engine liners. Qualification work for the educational degree "Bachelor": CUNTU, Kropyvnytskyi, 2025 - 46 p. Presentation materials – drawings (3,5 pages format A1).

**The purpose of the work** is to improve the technological process of machining a part of the liner of the internal combustion engine of a ZIL-130 car, reduce the labor intensity of manufacturing the part, increase labor productivity and reduce the cost of production.

Improvement is achieved through a comprehensive analysis of the basic technological process and identification of its weaknesses and shortcomings. In the technological part, the selection of equipment and tooling is carried out, allowances and processing modes are calculated. In the design part, the design of the drawing tool and clamping device is developed.

**Topicality.** The development of an improved technological process and a drawing tool for processing the internal cavity of the cylinder liners of the ZIL-130 internal combustion engine is an urgent practical task, given the wide use of these engines in trucks for private, municipal enterprises and military units.

**Practical meaning.** The work analyzed the basic factory technological process and developed a rationalization proposal for improving the technological process for manufacturing a part of the liner of the internal combustion engine of the ZIL-130 car, which is part of the cylinder-piston group. The developed design of the drawing tool and clamping device for processing liners is also presented.

**Key words:** technological process, sleeve, internal combustion engine, broaching, machining.

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

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до кваліфікаційної роботи на тему:

**«Вдосконалення конструкції протяжного  
інструменту для деформуючого протягування  
гільз двигунів внутрішнього згоряння»**

**КРБ.ПМ.25.11.27.00.00 ПЗ**

Виконав здобувач вищої освіти 4 курсу  
групи ПМ(ТМ)-21  
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,  
робототехніка і 3D-друк»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

\_\_\_\_\_ Назар КІГЛЮК

Керівник роботи к.т.н., ст. викл.

\_\_\_\_\_ Павло ЄРЬОМІН

Кропивницький 2025

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
1 Технологічна частина. Вихідні та розрахункові дані .....	10
1.1 Призначення, конструкція гільз циліндрів двигунів внутрішнього згоряння та аналіз їх технологічності .....	10
1.2 Аналіз традиційної технології механічної обробки робочої порожнини гільз .....	13
2 Конструкторська частина. Розробка конструкції деформуючої протяжки .....	15
2.1 Розробка складових частин деформуючої протяжки .....	15
2.2 Вибір геометрії робочих елементів протяжки і твердого сплаву для їх виготовлення .....	23
2.3 Розрахунок на міцність твердосплавних деформуючих елементів....	24
2.4 Розрахунок на міцність різьбового з'єднання .....	28
2.5 Розробка технології виготовлення робочих елементів протяжки .....	31
2.6 Організація робочого місця .....	36
3 Розробка конструкції затискного пристосування .....	37
3.1 Опис конструкції та принцип дії пристосування .....	37
3.2 Методика контролю параметрів шорсткості та точності форми обробленого отвору.....	41
Загальні висновки .....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	43
ДОДАТКИ .....	46

## ВСТУП

Розбудова нових та всебічна технічна реконструкція вже діючих промислових підприємств передбачає серед іншого оновлення і розвиток сучасних металообробних технологій. Важливу роль у рішенні цього завдання приділяється металообробній промисловості. Значний розвиток машинобудування в нашій країні неможливий без розробки і впровадження у виробництво нових прогресивних технологій, обладнання та інструментів, за рахунок яких забезпечується суттєве підвищення продуктивності праці, якості і експлуатаційні властивості виробленої продукції, а також суттєва економія енергетичних та матеріальних ресурсів.

Спосіб пластичної обробки отворів деформуючим протягуванням при температурах 20...30 градусів за Цельсієм є одним з методів, що цілком задовольняють таким вимогам. Використання протяжного інструменту з деформуючими елементами дає змогу виконати високопродуктивну механічну обробку виробів з металів, яка може знайти використання як в одиничному, так й в серійному виробництві. На теперішній час розвиток деформуючого протягування йде у бік вдосконалення та розширення технологічних можливостей цього процесу, розробку покращених конструкції протяжок і верстатного обладнання, використання міцних твердих сплавів та інструментальних сталей із зносостійкими покриттями для виготовлення робочих елементів інструмента.

Деформуюче протягування може успішно замінити традиційні процеси механічної обробки розточуванням, зенкеруванням, розвертанням, гострінням. До переваг обробки протягуванням можливо віднести високу продуктивність праці, точність отриманих розмірів та якість обробленої поверхні. Також визначають надійність процесу, високу стійкість інструмента, простоту налагодження верстата та самої обробки. Однак, під час виконання операцій протягування пред'являються високі вимоги до якості протяжок і точності розмірів їх складових частин. Тому вдосконалення конструкції збірного

деформуючого інструмента і раціональна технологія його виготовлення є важливими для ефективної роботи.

В наукових працях, що виконані відомими українськими вченими А.М. Розенбергом, О.А. Розенбергом, Е.К. Посвятенко та іншими надані результати різноманітних досліджень процесу деформуючого протягування, впливу його основних параметрів на якість та експлуатаційні властивості оброблених поверхонь деталей. Також в них надається ряд рекомендацій щодо виконання процесу протягування, а також проектування та виготовлення деформуючих та комбінованих протяжок.

Огляд літературних джерел показує, що процес деформуючого протягування всебічно досліджувався та використовується переважно для обробки пластичних матеріалів типу конструкційних сталей та кольорових сплавів. В той же час питання деформуючого протягування деталей із сірих та модифікованих чавунів, які відносяться до малопластичних матеріалів, дотепер розглядаються досить обмежено, що заважає широкому впровадженню цього методу у виробництво. Невелика кількість опублікованих праць з цієї тематики свідчить про потребу в додаткових дослідженнях цього методу обробки для деталей із чавуну. Відсутність в наявних роботах ґрунтовних даних по вивченню зміни параметрів процесу деформуючого протягування на характеристики якості оброблених поверхонь та експлуатаційні властивості деталей, а також відомостей по питанню особливостей взаємодії інструмента з оброблюваними деталями з чавунів, пояснюється тим, що фахівці майже не звертали своєї уваги до обмеженого ресурсу пластичності чавунів. Це заважає створенню нових технологій з обробки деталей із чавунів деформуючим протягуванням.

Велика питома вага модифікованих чавунів серед конструкційних матеріалів для двигунів внутрішнього згорання обумовлена їх високими конструкційними властивостями, тому проблема обробки круглих отворів в таких деталях є досить актуальною. Тому можна зробити висновок, що вдосконалення конструкції протяжного інструменту для деформуючого протягування гільз двигунів внутрішнього згорання є актуальною темою.

## Розділ 1 Технологічна частина. Вихідні та розрахункові дані

### 1.1 Призначення, конструкція гільз циліндрів двигунів внутрішнього згоряння та аналіз їх технологічності

Гільзи циліндрів є відповідальними деталями кривошипно-шатунного механізму двигунів внутрішнього згоряння (надалі – ДВЗ), який призначений для перетворення зворотно-поступального руху поршня, що сприймає силу тиску відпрацьованих газів у обертальний рух колінчастого валу [11,12]. Гільза разом із поршнем та головкою циліндрів формує об'єм камери згоряння, в якій здійснюється робочий цикл двигуна. Також внутрішня поверхня стінки гільзи служить напрямною при русі поршня. В зв'язку з цим, при виготовленні гільзи до неї пред'являються високі вимоги до точності форми її внутрішньої робочої порожнини в повздовжньому та поперечному перетинах, а також стану поверхневого шару. На рис. 1 показано зовнішній вигляд вставних гільз, які застосовуються для первинної комплектації та для ремонту ДВЗ.



Рисунок 1 – Гільзи ДВЗ різних типорозмірів [13]

В більшості випадків гільзи циліндрів ДВЗ виготовляють із сірих модифікованих чавунів методом відцентрового лиття. Хімічний склад та твердість матеріалу гільз декотрих двигунів представлено у таблиці 1[8]

Таблиця 1 – Хімічний склад та твердість оброблюваних матеріалів

№ п/п	Оброблюваний матеріал	Вид деталей	Вміст хімічних елементів							НВ, ГПа
			C	Cr	Si	Mn	Ti	V	Mg	
1	Спеціальний модифікований чавун	Гільза ДВЗ МТ10	3,75	0,20	2,11	0,5	0,12	0,10	-	2,35
2	Спеціальний модифікований чавун	Гільза ДВЗ ЗИЛ-130	3,75	0,35	2,13	1,0	0,06	-	-	2,30

Широке використання сірого чавуну для виготовлення гільз ДВЗ обумовлене тим, що даний матеріал має високі антифрикційні властивості. Це досягається за рахунок значного вмісту вільного графіту, який у чавуні сприятливо впливає на умови тертя у зоні контакту порожнини гільзи із компресійними та маслоснімними кільцями й перешкоджає схоплюванню поверхонь, що труться поміж собою.

Гільзи циліндрів ДВЗ відносяться до класу втулок. Зазвичай вони мають неоднакову жорсткість по довжині, в зв'язку з наявністю буртиків та декількох кільцевих виступів на зовнішній поверхні. Розглянемо технологічність конструкції таких деталей на прикладі гільзи двигуна вантажного автомобіля марки ЗИЛ-130 (рис. 2). Ця деталь має висоту  $L=189$  мм та внутрішній діаметр  $100^{+0,06}$  мм. Відповідальним отворами гільзи є внутрішня порожнина (робоча поверхня) А, торці Б та В, а також кільцеві виступи Г та Д.

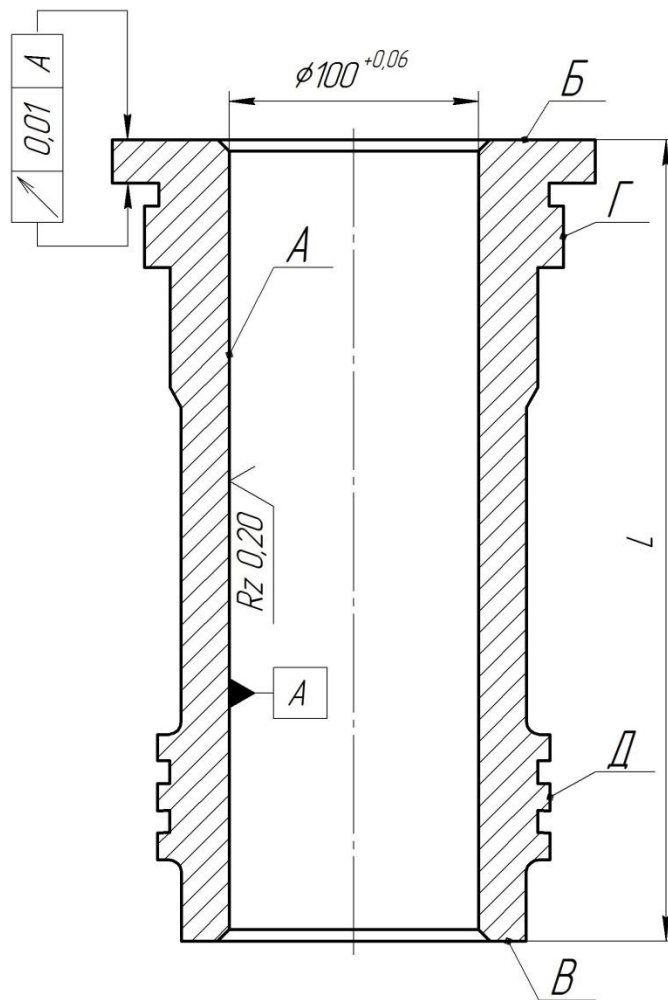


Рисунок 2 – Гільза ДВЗ ЗИЛ-130

Поверхня А є робочою порожниною гільзи, по якій відбувається переміщення поршня з кільцями. З метою забезпечення герметичності камери згоряння двигуна овальність та конусність внутрішньої обробленої поверхні не повинна перевищувати 0,06 мм, а її шорсткість повинна бути у межах  $Ra=0,16 \dots 0,32$  мкм. На цієї поверхні не допускаються повздовжні риски, глибокі раковини та забоїни.

Торець Б є площиною, по якій гільза спряжена через прокладку із головою блока циліндрів ДВЗ. Тому, торець Б не повинен мати великих відхилень від площини, повинен бути паралельним торцю В та перпендикулярним повздовжній осі гільзи.

Торець В та кільцевий виступ Г є базовими поверхнями при встановленні гільзи у блок циліндрів ДВЗ. Ці поверхні також використовуються в якості

технологічних баз при обробці внутрішньої порожнини гільзи А. Тому, при механічній обробці до поверхонь В та Г висуваються високі вимоги по їх точності. Менш відповідальними поверхнями є кільцевий виступ Д. В пазах цих кільцевих виступів встановлюються спеціальні гумові кільця, які служать для герметизації порожнини, де циркулює охолоджувальна рідина у блоці циліндрів.

З точки зору механічної обробки зовнішніх поверхонь гільзи, ця деталь досить технологічна та особливих проблем при її виготовленні не викликає. В той же час, обробка внутрішньої порожнини гільзи потребує значних трудових витрат внаслідок високих вимог, що висуваються до якості цієї поверхні та точності форми отвору.

## 1.2 Аналіз традиційної технології механічної обробки робочої порожнини гільз

В якості прикладу в табл. 2 приведено технологічний маршрут обробки внутрішньої порожнини гільз різних типорозмірів [9].

З даних таблиці можливо зробити висновок, що традиційна технологія механічної обробки отвору гільзи ДВЗ є досить трудомісткою. Тому пропонується замінити традиційні методи різання на операцію деформуючого протягування або дорнування збірним інструментом з твердосплавними робочими елементами. Це дозволить скоротити час на обробку разом із підвищенням якості обробленої поверхні чавунної гільзи [10]. Для проектування нових технологій, протяжного інструмента, устаткування або оцінки можливості використання того обладнання, що вже є у наявності, необхідно знати ряд взаємних залежностей між величинами тиску, тертя, геометрією інструмента, діючими силами та параметрами формозміни металу.

Таблиця 2

№ п/п	Найменування операції	Шорсткість поверхні Ra, мкм	Діаметр обробленого отвору, мм	Машинний час на обробку
1	2	3	4	5
Гільза ДВЗ МТ-10				
1.	Зенкерування	4,0	$\varnothing 77^{+0,2}$	1,23
2.	Розточування чорнове	2,5	$\varnothing 77,80^{+0,12}$	3,25
3.	Розточування чистове	0,63	$\varnothing 77,95^{+0,03}$	5,38
4.	Хонінгування чорнове	0,32	$\varnothing 77,99^{+0,03}$	4,44
5.	Хонінгування чистове	0,16	$\varnothing 78,0^{+0,011}$	4,44
Гільза ДВЗ СМД-14				
1.	Зенкерування чорнове	8,0	$\varnothing 117^{+0,4}$	
2.	Зенкерування напівчистове	6,0	$\varnothing 118^{+0,2}$	
3.	Зенкерування чистове	4,0	$\varnothing 119,85^{+0,09}$	
4.	Хонінгування чорнове	1,25	$\varnothing 119,92^{+0,04}$	
5.	Хонінгування напівчистове	1,00	$\varnothing 119,96^{+0,04}$	
6.	Хонінгування чистове	0,63	$\varnothing 120^{+0,04}$	
7.	Полірування	0,32	$\varnothing 120^{+0,06}$	
Гільза ДВЗ ЗИЛ-130 (відновлена у ремонтний розмір)				
1.	Розточування або зенкерування та розвертання	1,25	$\varnothing 100,46^{+0,04}$	4,32 5,2
2.	Хонінгування	0,63	$\varnothing 100,49^{+0,02}$	5,76
3.	Полірування	0,32	$\varnothing 100,5^{+0,06}$	5,76

## 2 Конструкторська частина. Розробка конструкції деформуючої протяжки

### 2.1 Розробка складових частин деформуючої протяжки

Матеріали, наведені в першому розділі, дозволили зробити висновок щодо можливості використання процесу деформуючого протягування стосовно до обробки циліндричних отворів у деталях із чавуну. Це може бути основою для створення нового протяжного інструмента, що може досить ефективно використовуватися при виробництві деталей машин з високими вимогами до якості їх виготовлення. Однак, повну оцінку ефективності застосування нового протяжного інструмента та технологічного процесу виготовлення деталей, що включає операції протягування, можна одержати лише в результаті виробничих випробувань конструкції протяжки на конкретних типових деталях. Великий практичний інтерес представляє питання деформуючого протягування отворів у гільзах і циліндрах ДВЗ, які виготовляються в більшості випадків зі спеціального модифікованого чавуну.

По-перше, деформуюче протягування отворів у гільзах і циліндрах на даний час практично не використовувалося, окрім деяких випадків. По-друге, ці деталі мають відносно великий внутрішній діаметр. Технологія виготовлення гільз циліндрів ДВЗ досить складна та трудомістка через високі вимоги, що висуваються до якості їхнього виготовлення. Традиційний технологічний процес обробки отворів таких деталей, як у нашій країні так і за кордоном, як правило, включає операції розточування, зенкерування, розвертання, шліфування, двох-, трьох-, а іноді і чотириразового хонінгування.

По-третє, випуск подібних деталей для виконання ремонтних робіт на підприємствах нашої країні становить сягає значних обсягів, тому що автомобілі ЗИЛ дотепер використовуються у приватних та комунальних підприємствах, а також у військових підрозділах. Викладене вище вказує на те, що завдання інтенсифікації технологічного процесу обробки отворів у гільзах і циліндрах ДВС на сьогодні є актуальним.

Одним з напрямків і рішення таких завдань може бути створення та впровадження в технологічний процес замість малопродуктивних операцій нового високоефективного протяжного інструмента. На основі матеріалів, наведених в першому розділі роботи, була запропонована вдосконалена технологія деформуючого протягування та конструкція інструменту для обробки отворів у гільзах ДВЗ різних типорозмірів на прикладі відновлення гільз двигуна ЗИЛ-130 в 1-й ремонтний розмір в умовах ремонтного заводу або спеціалізованої СТО. У порівнянні із заводським технологічним процесом, відповідно до якого обробка внутрішньої порожнини гільзи складається з розточування або зенкерування, розвертання та 2-х кратного хонінгування, можливо зменшити час та трудомісткість обробки гільз за рахунок використання процесу послідовного деформування поверхневих шарів оброблюваного матеріалу, а також намітити шляхи вдосконалювання конструкції протяжки і технологічного ланцюга в цілому.

Високу точність форми отвору можна одержати різними способами механічної обробки різання, найбільш продуктивним з яких є протягування [1,2,4]. На даний цей час у нашій країні є великий практичний досвід по ріжучому протягуванню отворів у деталях із чавуну не тільки малих і середніх діаметрів (до 60 мм), але також і деталей з більшим діаметром отвору, зокрема в циліндрах і гільзах ДВЗ.

Так, наприклад, авторами роботи [8-10] було створено кілька конструкцій протяжок, випробування яких безпосередньо на різних типорозмірах гільз і циліндрів дозволили вибрати найбільш раціональну схему протягування з погляду одержання високої продуктивності обробки, точності форми отвору і мінімальної шорсткості. Конструкція протяжки за такою схемою (рис. 3) складається з оправки 1, на якій розташовані один ріжучий зубець 5, що знімає припуск пружної у радіальному напрямку напрямної 3, дистанційного кільця 4 та стяжної гайки 2.

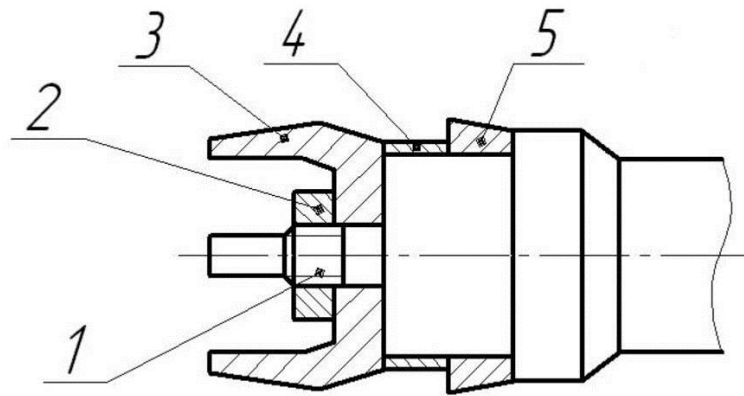


Рисунок 3 – Конструкція комбінованої протяжки для обробки отворів у чавунних гільзах тракторних ДВЗ

На підставі аналізу викладених вище матеріалів встановлено, що однією з найбільш раціональних схем протягування може бути схема деформуючого протягування, одним з варіантів якої є комбінації в інструменті жорстко зв'язаних між собою та послідовно розташованих декількох груп деформуючих елементів. Перша група деформуючих елементів повинна виконувати роботу з роздачі отвору, формуючи тим самим його геометрію, а друга виконує остаточну роботу з пластичної деформації поверхні робочої порожнини гільзи.

Розробляючи представлений на рис. 3 конструктивний варіант протяжки, є сенс керуватись наступними принципами:

По-перше, з метою забезпечення найбільш максимальної продуктивності обробки на операції протягування, довжина інструменту, а отже і кількість робочих елементів повинні бути мінімальними.

По-друге, кількість деформуючих елементів протяжного інструменту повинна бути мінімальною, але достатньою для того, щоб забезпечити високу якість обробленого отвору.

Згідно рис. 4 перший блок деформуючої протяжки складається з двох деформуючих елементів. Як показали результати експериментів [10], така кількість деформуючих елементів першого блоку є мінімальною з погляду забезпечення центрування оброблюваного отвору щодо осі інструмента та створення зміцненого поверхневого шару, що підлягає наступній обробці.

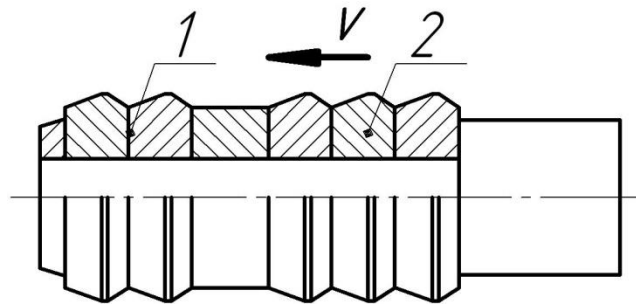


Рисунок 4 – Схема деформуючої протяжки

Введення в першу деформуючу групу більше двох деформуючих елементів дещо збільшує ступінь і глибину зміцнення поверхневого шару, однак такий варіант є небажаним через необхідність подовження робочої частини інструменту, та, відповідно, зниження його продуктивності. Якщо використати лише один деформуючий елемент, то в цьому випадку можливо не досягти потрібного зміцнення поверхневого шару, внаслідок коливання діаметральних розмірів оброблюваних отворів у допустимих межах, а також погрішності їх форми. Перший деформуючий елемент блоку призначений для центрування оброблюваного отвору деталі відносно повздовжньої осі протяжки. Тому, у порівнянні з іншими деформуючими елементами, він має більшу довжину робочого конуса, що визначається з урахуванням похибки діаметра оброблюваного отвору та погрішності базування деталі в опорному фланці. Для забезпечення гарантованого натягу на перший деформуючий блок зовнішній діаметр першого деформуючого елемента був прийнятий рівним максимальному діаметру оброблюваного отвору. При цьому фактичний натяг на перший деформуючий елемент може змінюватись в межах похибки діаметрального розміру отвору деталі.

З метою створення високих контактних напружень зовнішнього шару оброблюваної порожнини, номінальний натяг на другий деформуючий елемент першого блоку (див. рис. 4) пропонується призначити рівним 0,15 мм, при цьому зовнішній діаметр другого деформуючого елемента складе 100,3 мм.

Згідно рис. 4 за першим блоком розташована друга деформуюча група - блок із трьох деформуючих елементів з номінальним натягом на кожний

елемент рівним 0,15 мм. Визначення даної кількості деформуючих елементів цієї групи і величини номінального натягу на деформуючий елемент виходить з необхідності створення такої пластичної деформації, що була б мінімальною, щоб уникнути роздачі деталі по зовнішньому діаметрі та перекручування форми отвору, але достатньої для одержання найбільш сприятливого мікрорельєфу обробленої поверхні та зміцнення до граничного ступеню поверхневого шару робочої порожнини деталі.

З погляду забезпечення мінімальної сили протягування та точності форми отвору оптимальним кутом утворюючого робочого конуса деформуючих елементів є  $4^\circ$  [8]. Тому для всіх деформуючих елементів розглянутої протяжки кут утворюючого робочого конуса був прийнятий рівним  $4^\circ$ .

При виконанні операції протягування робочий орган верстата або гідравлічного пресу, зазвичай, виконує робочий і зворотний (холостий) ходи. В існуючих випадках обробки, коли протяжка переміщується через отвір оброблюваної деталі, зворотний конус деформуючих елементів протяжки в результаті наявності позаконтактної зони деформації [5] не має контакту з оброблюваним матеріалом та не деформує його. Тому вибору геометрії зворотного конуса деформуючих елементів особливої уваги не приділяють і в більшості випадків, з метою заміни в процесі роботи інструмента зношеного робочого конуса на зворотний, а також підвищення технологічності виготовлення деформуючих елементів, кути робочого та зворотного конусів призначають однаковими [6,7].

Однак, є ряд деталей (наприклад, деталі із глухими отворами), а також гільзи та циліндри ДВЗ, при обробці яких протяжку необхідно жорстко зв'язувати з робочим органом верстата. Це приводить до необхідності забезпечення зворотного ходу інструмента через оброблений отвір. В такому випадку створення можливості додаткового пластичного деформування оброблюваної поверхні деталі на зворотному ході може значно підвищити ефективність роботи інструмента. Такі умови можна одержати лише в тому випадку, коли буде мати місце пружне відновлення деталі після ступінчастого

деформування в процесі робочого ходу інструмента. Тільки тоді можна забезпечити контакт зворотного конуса деформуючих елементів при зворотному проходженні інструмента через оброблюваний отвір.

При холодному ступінчастому деформуванні отворів у деталях із чавуну, незалежно від величина сумарної деформації, натягу на деформуючий елемент, геометрії інструмента та товщини стінки оброблюваних деталей, завжди має місце пружне відновлення деталі [5,7]. Тому при деформуючому протягуванні деталей із чавуну є цілком реальні умови для створення додаткової пластичної деформації оброблюваної порожнини деталі за рахунок використання зворотного (холостого) ходу інструмента. Отже, якщо розташувати деформуючі елементи поза зонами хвилі позаконтактної деформації, то практично кожний з них може контактувати з оброблюваною поверхнею деталі при зворотному русі інструмента.

Якщо прийняти кут зворотного конуса деформуючих елементів рівним куту робочого конуса, то площа контакту при взаємодії зворотного конуса з оброблюваною поверхнею буде дорівнює тій частини площі контакту робочого конуса, що робить деформування деталі в області пружних деформацій. Тоді, при зворотному ході інструмента в результаті взаємодії зворотного конуса з оброблюваною поверхнею будуть мати місце тільки пружні деформації. У цьому випадку, як показали результату експериментів [7-10], істотних змін з оброблюваним матеріалом не відбувається, про що свідчить рівність діаметрів оброблюваного та обробленого отвору і ідентичність шорсткості обробленої поверхні до та після протягування інструментом при зворотному русі.

Якщо ж прийняти кут твірної зворотного конуса деформуючих елементів більшим кута утворюючого робочого конуса, то в такому випадку взаємодія зворотного конуса з оброблюваною поверхнею при зворотному ході інструмента буде відбуватися по значно меншій площі контакту, чим при рівності кутів 2-4°. Зменшення площі контакту приводить до відповідного росту контактних тисків на оброблювану поверхню та, отже, і більшої деформації мікронерівностей

Вибір значень кута  $\alpha$  менше зазначеного діапазону не викликає появи помітної пластичної деформації через недостатнє збільшення значень контактних тисків, а вибір значень кута більше зазначеного діапазону може привести до лущення обробленої поверхні.

Протягування гільз двигуна ЗИЛ-130 можливо здійснювати на спеціальному гідравлічному пресі мод. П6302Б. Як технологічне змащення застосовується 5%-ва емульсія, яка подається в зону обробки методом рясного поливу. Така конструкція інструмента показує цілком задовільні результати по продуктивності обробки та забезпеченню точності форми отвору.

Обираємо жорстке закріплення інструмента за допомогою циліндричного хвостовика у штоку верстата. Операція протягування виконується замість операції розточування або зенкерування з наступним розвертанням, передбаченої заводським технологічним процесом.

Загальний вигляд деформуючої протяжки показано на рис. 5.

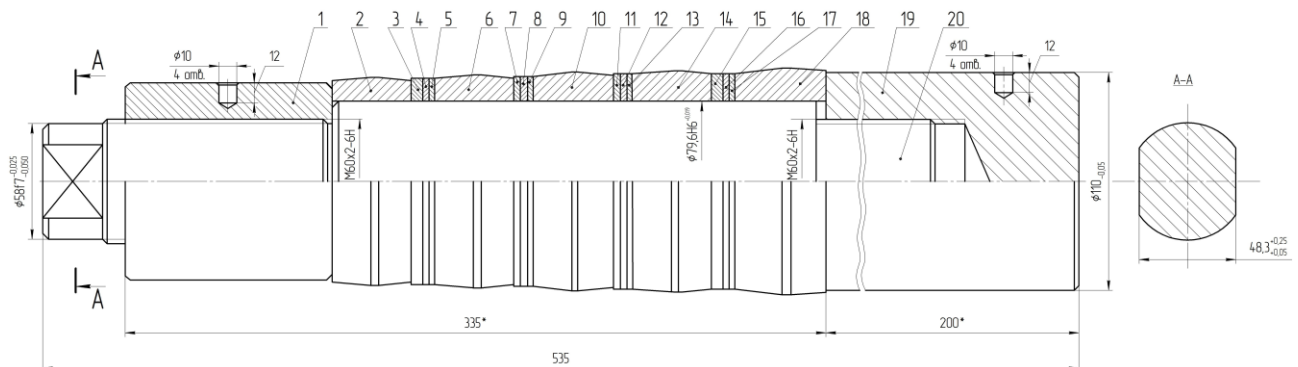


Рисунок 5 – Деформуюча протяжка

Протяжка складається з наступних елементів: першого деформуючого блока з двох елементів 2 та 6, другого деформуючого блока з трьох елементів 10, 14 та 18, оправки 20, дистанційних кілець 3-5,7-9,11-13 та 15-17, гайки 1, хвостовика 19.

Оправка представляє з себе ступінчастий вал, на котрому з обох сторін нарізана різь. Різьбовий кінець валу М60 служить для накручування кріпильної гайки, котра забезпечує тісне спряження елементів на оправці. Протилежний кінець оправки з аналогічною різзю М60 служить для кріплення на неї

хвостовика. Хвостовик служить для закріплення протяжки в патроні гідравлічного пресу моделі П6302Б, який оснащений однією стійкою з індивідуальним приводом з зусиллям 100 кН. В патроні він вставляється із невеликим зазором та фіксується від осьового зміщення за допомогою 4-х гвинтів, що вкручуються у різьбові отвори патрону та заходять своїми кінцями у радіальні глухі отвори  $\varnothing 10$  мм. Дистанційні втулки забезпечують вільний наскрізний прохід через отвір, що обробляється.

При холодному ступінчастому деформуванні отворів в деталях із чавуну, незалежно від величини сумарної деформації, натягу на деформуючий елемент, геометрії інструмента та товщини стінки оброблюваного отвору, завжди має місце пружне відновлення деталі. Тому при деформуючому протягуванні деталей із чавуну існують реальні умови для створення додаткового зміцнення оброблюваної порожнини за рахунок використання зворотного (холостого) ходу протяжки. Таким чином, інструмент, що пропонується, можливо жорстко зв'язати із штоком гідравлічного пресу, щоб зворотний хід інструмента виконувався через оброблюваний отвір, що може значно збільшити ефективність роботи протяжки шляхом створення допоміжного пластичного деформування оброблюваного отвору.

Перший деформуючий блок 1 (див. рис. 5) призначено для центрування оброблюваного отвору відносно осі протяжки та створення зміцненого поверхневого шару. Другий деформуючий блок 2 (див. рис. 5) використовується для отримання найбільш сприятливого мікрорельєфу обробленої поверхні та зміцнення до граничного ступеню поверхневого шару робочої порожнини гільзи ДВЗ ЗИЛ-130. Жорсткий зв'язок інструмента зі штоком пресу забезпечує хвостовик спеціальної конструкції.

## 2.2. Вибір геометрії робочих елементів протяжки і твердого сплаву для їх виготовлення

За [1] приймаємо для виготовлення деформуючих елементів також 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  $4^\circ$ . Якщо прийняти кут зворотного конуса деформуючих елементів рівним куту робочого конуса  $\alpha=\alpha_1$ , то площа контакту при взаємодії зворотного конуса з оброблюваною поверхнею буде рівною тій частини площі контакту робочого конуса, яка виконує деформування отвору в області пружних деформацій. Тоді, при зворотному русі інструмента в результаті взаємодії зворотного конуса з оброблюваною поверхнею будуть мати місце тільки пружні деформації. В такому випадку суттєвих змін в оброблюваному матеріалі не відбувається.

Якщо ж прийняти  $\alpha_1>\alpha$ , то взаємодія зворотного конуса з оброблюваною поверхнею при зворотному русі протяжки буде відбуватись за значно меншою площиною контакту, ніж при  $\alpha=\alpha_1$ . Це призведе до відповідного росту контактних тисків на оброблювану поверхню, і внаслідок того, до пластичної деформації мікронерівностей. Обираємо значення  $\alpha_1$  в залежності від значення  $\alpha$  за формулою:

$$\alpha_1=(3,24...3,96)\cdot\alpha^{0,737} \quad (2.1)$$

$$\alpha_1=3,24\cdot 4^{0,737}=9^\circ$$

Для кожного із деформуючих елементів протяжки кут зворотного конуса приймаємо  $9^\circ$ .

Характеристики та режими протягування:

$V=0,03...0,05$  м/с;  $a_{\text{НОМ}}=0,25...0,5$  мм на сторону.

Параметри та характеристики інструменту:

деформуючі секції – твёрдосплавні елементи із сплаву ВК8,  $\alpha=\alpha_1=2\dots 12^\circ$ ;  
спосіб закріплення ДЕ на оправці протяжки – посадка із зазором 0,01 мм

### 2.3 Розрахунок на міцність твёрдосплавних деформуючих елементів

Розрахунок деформуючих елементів на міцність буде виконуватись за методикою, що розроблена авторами [8-10]. Для цього будемо вважати твёрдосплавний 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 твёрдосплавних 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:

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 [ ];

$l$  – фактична ширина контакту робочої поверхні елемента з оброблюваною поверхнею, яка залежить від діаметра отвору  $d_0$  та товщини

стілки  $t_0$  деталі до обробки, а також від величини фактичного натягу  $a_\phi$ , значення обираємо із [1];

$f$  – коефіцієнт тертя при деформуючому протягуванні;

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

$D_K$  – зовнішній діаметр деформуючого елемента (див. рис. 9), приймаємо конструктивно.

Допустиме напруження на згин для твердого сплаву визначаємо за формулою

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

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

$$\sigma_{uz.в.} = 4,62 \cdot D_K^{-0,36} \cdot t_k^{-0,45} \cdot \sigma_{uz.в.см.} \quad (2.4)$$

де  $\sigma_{uz.в.см.}$  – межа міцності твердого сплаву на згин [1], який наведено у нормативній документації на матеріал;

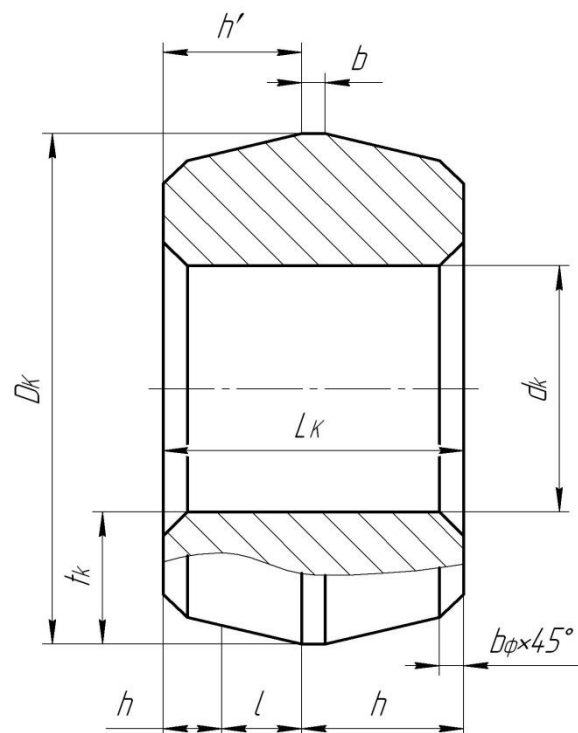


Рисунок 6 – Схема до розрахунку на міцність твердосплавного деформуючого елемента симетрично навантаженої форми

$$\sigma_{uz.в.} = 4,62 \cdot 100,15^{-0,36} \cdot 10^{-0,45} \cdot 1470 \cdot 10^6$$

$$\sigma_{изв.} = 4,58 \cdot 10^9 \text{ Па} = 0,458 \text{ ГПа}$$

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

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

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

$e$  – основа натурального логарифма;

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

$K_\phi$  – коефіцієнт форми отвору деформуючого елемента.

$$K_{н.с.} = 1,1 \cdot 80^{0,33} \cdot 10^{-0,42} \cdot e^{\frac{-3100,027^{1,1}}{10}} \cdot 1$$

$$K_{п.с.} = 1,91; \text{ приймаємо } K_{п.с.} = 2$$

При визначенні  $\sigma_{изв.}$  та  $K_{н.с.}$  у формулі 3.4 та 3.5 підставляємо товщину стінки елемента, обрану конструктивно та рівну 10 мм.

$K_{з.н}$  – коефіцієнт запасу міцності, визначається із [1].

$$K_{з.н} = 2,2;$$

$$\sigma_{изв.} = \frac{4,58 \cdot 10^9 \cdot 2}{2,2} = 4,164 \cdot 10^9 \text{ Па} = 0,4164 \text{ ГПа}$$

За формулою 2.2 визначаємо товщину стінки деформуючого елемента

$$t_k = 0,329 \cdot \frac{(150 \cdot 10^3)^{0,735} \cdot 1,2^{0,71} \cdot 0,938^{1,6}}{0,11^{0,43} \cdot (4,58 \cdot 10^9)^{0,735} \cdot 100,15^{0,36}} = 8,4 \text{ мм.}$$

Порівнюємо отримане значення  $t_k = 8,4$  мм та прийняте конструктивно  $t_k = 10$  мм. Їх різниця не перевищує 1,6 мм, тому приймаємо первісне значення  $t_k = 10$  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.

$$R_k = \frac{D_k}{2} = \frac{100,15}{2} = 50,75 \text{ мм};$$

$$r_k = \frac{d_k}{2} = \frac{80}{2} = 40 \text{ мм};$$

$\nu$  – 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 осі,  $\text{мм}^3$ . Значення  $W$  знаходимо за формулою:

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

$$W = \frac{9 \cdot (50,75^4 - 40^4) \cdot (50,75^2 - 40^2) - 8 \cdot (50,75^3 - 40^3)^2}{12 \cdot (50,75^3 - 40^3) - 18 \cdot (50,75^2 - 40^2) \cdot 40} \cdot 3,14 = 1808 \text{ мм}^3.$$

Визначимо висоту деформуючого елемента за формулою 2.6

$$L_K = 1,2 \cdot \left[ \frac{1,6}{2} \cdot \sqrt{\frac{1,6^2}{4} + \frac{8 \cdot 0,54 \cdot 50,75 \cdot 1808}{3,14 \cdot (50,75^2 - 40^2)}} \right] = 10,923 \text{ мм}.$$

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

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

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

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

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

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

$$L_{e.ä} = \frac{0,15}{2 \cdot \text{tg } 4^\circ} + 0,8 + 2 \cdot (0,8 + 2,5) = 7,465 \text{ мм}.$$

Умова міцності виконується, так як мінімально допустима висота  $L_{к.д}$ , менша, ніж розрахована висота деформуючого елемента.

Мінімальна відстань  $h'$  (див. рис. 9) від торця деформуючого елемента до циліндричної стрічки:

$$h' = \frac{L_{к.д}' + l}{2}, \quad (2.9)$$

де  $L_{к.д}'$  – прийнята з умови міцності та конструктивних міркувань висота деформуючого елемента.

$$L_{к.д}' \geq L_{к.д}$$

$$h' = \frac{10 + 1,6}{2} = 5,8 \text{ мм.}$$

Приймаємо за конструктивним міркуванням:  $h' = 6,5$  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)

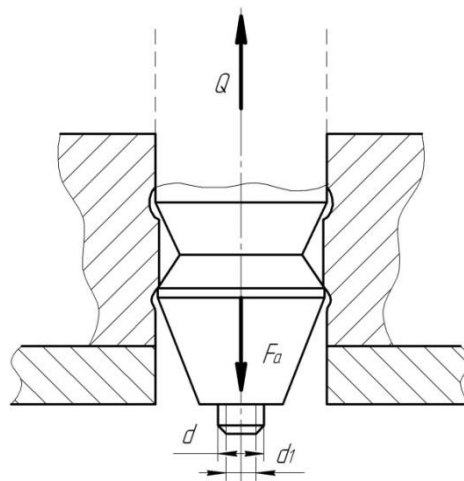


Рисунок 7 – Схема сил, що діють у різьбовому з'єднанні «оправка-гайка»

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 змінання 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;

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

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

$\sigma_a$  – амплітуда змінних напружень.

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

де  $\chi$  – 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;

$\sigma_m$  – межа текучості матеріалу;

$\sigma_o$  – 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 Розробка технологи виготовлення робочих елементів протяжки

Визначення методів виготовлення заготовок, припусків на їх механічну обробку та межі відхилення розмірів

Заготовки робочих елементів деформуючих протяжок отримують методом холодного пресування сумішей у прес-формах з наступним спіканням по загальновідомій технології виготовлення виробів із металокерамічних твердих сплавів. У табл. 3 приведені припуски на механічну обробку та межі відхилення розмірів твердосплавних заготовок (зовнішнього діаметру  $D_3$ , діаметру отвору  $d_3$  та висоти  $L_3$ ) після спікання для деформуючих елементів протяжок з зовнішнім діаметром 80...100 мм та висотою 20...40 мм.

Таблиця 3

Припуски на механічну обробку та граничні відхилення розмірів твердосплавних заготовок, мм

Найменування розміру	Припуск на діаметр або висоту	Граничне відхилення розміру
Зовнішній діаметр $D_K=100,15$ мм	1,25	$\pm 0,35$
Внутрішній діаметр $d_K = 80$ мм	0,6	$\pm 0,2$
Висота $L_K$	0,6	$\pm 0,2$

Твердосплавні деформуючі елементи в процесі експлуатації сприймають значні навантаження, які можуть викликати руйнування деформуючого елемента при наявності дефектів у твердому сплаві. Тому обробку робочих елементів деформуючих протяжок слід проводити в умовах, що виключають можливість появи таких дефектів.

Визначення режимів обробки заготовок та пристосувань на технологічні операції:

Режими обробки твердосплавного деформуючого елемента приведені у табл. 4. У якості пристосувань на 005 операції застосовується трьохкоординатний самоцентрувальний патрон; на 010 операції застосовується магнітна плита та сталеві планки; на операціях, що залишились застосовуються оправки, центри та хомутики, а на полірувальній ще й повстяний притир. Перед шліфуванням конусів та зовнішній циліндричній стрічці елемент необхідно покрити тонким шаром міді, зануреним у мідний купорос. Це дає можливість точно визначити при обробці довжину конусів та циліндричної стрічки.

Таблиця 4

Режими обробки твердосплавних деформуючих елементів та характеристика шліфувальних інструментів

Номер операції або переходу	Характеристика шліфувального інструмента	Режим обробки				
		$V_{\text{кол}}$ , м/с	$S_{\text{пр}}$ , м/хв	$S_{\text{ном}}$ , мм/подв.хід	$V_d$ , м/хв	$t$ , мм
005	АГЦАСР 80163 Б8-100	10-20	1,5-1,5	0,05	10-30	0,025-0,05
010	АЧКАСВ 100180 М04-100	15-20	0,5-1,5	-	10-30	0,01-0,015
015	АППАСВ 125/100 М04-100	25-30	5-15	10-20	-	0,01-0,02
020	АППАСВ 125/100 М04-100	25-30	0,5-15	0,05-0,1	20-40	0,005-0,01
025	АППАСВ 125/100 М04-100	25-30	0,5-15	0,005	20-40	0,005-0,01
030	АППАСВ 125/100 М04-100	25-30	0,5-15	0,005	20-40	0,005-0,01
035	АППАСВ 125/100 М04-100	25-30	-	0,01	20-40	0,8x4 5°
040	АСМ513	25-30	0,5-15	0,005	300	-

У табл. 5. приведений технологічний процес обробки твердосплавних елементів розробленої деформуючої протяжки для обробки робочої порожнини гільзи ДВЗ ЗИЛ-130. Послідовність та структура операцій, а також обладнання та режим обробки, які прийняті на основі рекомендацій у роботі [1,7]. Інструмент та ЗОТС вибрані по рекомендаціям робіт [7-10].

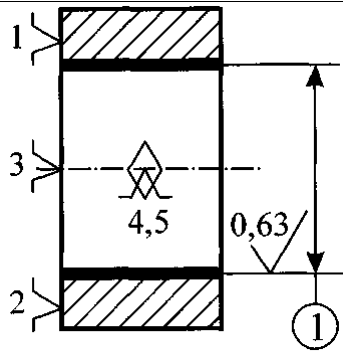
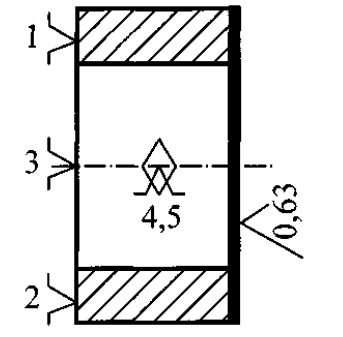
Шліфування всіх поверхонь виробу проводиться тільки алмазними кругами. Посадочний отвір шліфується алмазною циліндричною шліфувальною

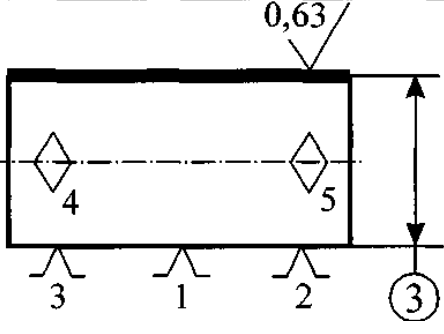
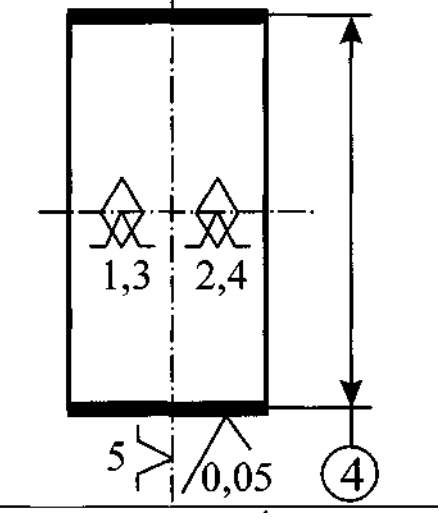
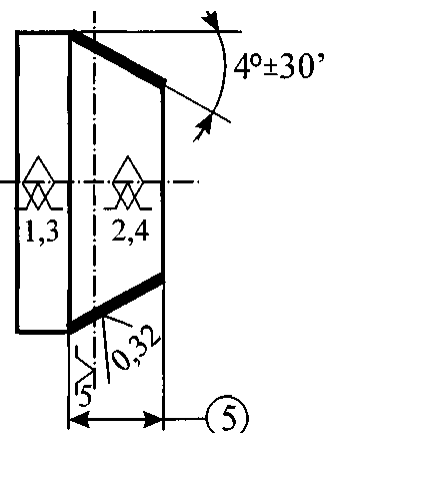
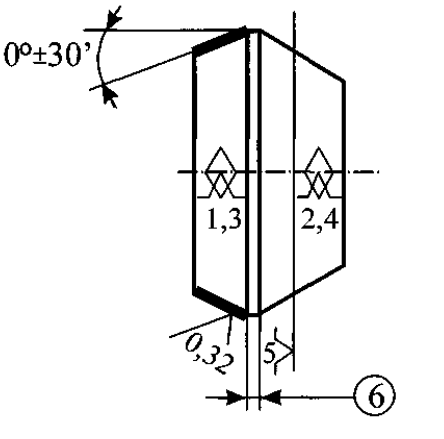
головкою форми АГЦ. Обробка по зовнішньому діаметру, фаскам, робочому та зворотному конусам, одному із торців проводиться кругами форми АПП, а по іншому торцю - кругом форми АЧК.

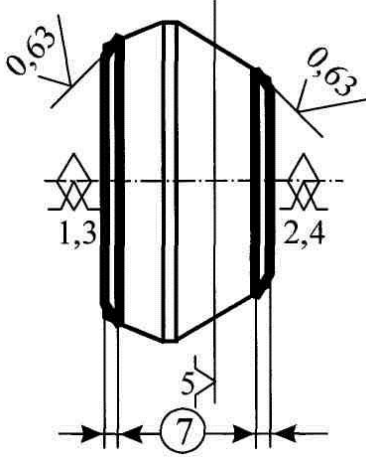
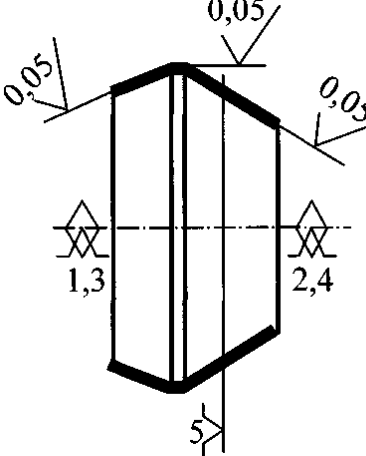
Шліфування твердосплавних деформуючих елементів відбувається з охолодженням. Рекомендований склад (%) ЗОТС наступний: тринатрійфосфат - 0,60; вазелін технічний - 0,05; бура - 0,30; кальцинована сода - 0,25; нітрат натрію - 0,10; вода - 98,70. Поліруються вироби алмазною пастою АСМ513 за допомогою повсті, шкіри або фетру.

Таблиця 5

Розробка технологічного процесу обробки твердосплавних деформуючих елементів

Номер та назва операції	Обладнання (назва, модель)	Ескіз обробки із схемою базування	Зміст операції
1	2	3	4
005 Шліфувальна	Внутрішшліфу-вальний мод. ЗК225В		Шліфувати отвір до діаметру 1
010 Шліфувальна	Внутрішшліфу-вальний мод. ЗК225В		Шліфувати торець, витримавши розмір 2

1	2	3	4
<p>015 Шліфувальна</p>	<p>Плоскошлі- фувальний мод. 3Г71</p>		<p>Шліфувати торець, витримавш и розмір 3</p>
<p>020 Шліфувальна</p>	<p>Круглошлі- фувальний мод. 3Г12</p>		<p>Шліфувати зовнішній діаметр до розміру 4</p>
<p>025 Шліфувальна</p>	<p>Круглошлі- фувальний мод. 3А150</p>		<p>Шліфувати робочий конус під кутом 4°±30' витримавш и розмір 5</p>
<p>030 Шліфувальна</p>	<p>Круглошлі- фувальний мод. 3А150</p>		<p>Шліфувати зворотний конус під кутом 10°±30' витримавш и розмір 6</p>

1	2	3	4
035 Шліфувальна	Круглошліфувальний мод. 3A150		Шліфувати фаски у розмір 7 з двох сторін
040 Полірувальна	Круглошліфувальний мод. 312M		Полірувати циліндричн у стрічку та конуси

## 2.6 Організація робочого місця

Організація робочого місця відповідає вимогам діючих норм.

Біля верстата передбачений стелаж, тумбочка, для розміщення різних інструментів, альбом технологічної документації. На підлозі, по всій довжині верстата, передбачено 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 діючих вимог.

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

### 3 Розробка конструкції затискного пристосування

#### 3.1 Розробка конструкції пристосування для обробки робочої порожнини гільзи ДВЗ ЗИЛ-130

Опис конструкції та принцип дії пристосування

Пристосування відноситься до типу складально-розкладальних пристрів та призначене для базування гільзи ДВЗ ЗИЛ-130 під час обробки його робочої порожнини деформуючою протяжкою.

При розробці пристосування головною метою було досягти правильного вибору способу затискання та базування гільзи циліндру ДВЗ. За основу приймаємо той факт, що від основних розмірів та форми деталі, а також заданої точності залежить якість обробки та економічна складова технологічного процесу.

Основні вимоги, що стосуються розроблюваного пристрою:

- 1) Закріплення якомога більшої частини заготівки;
- 2) Зручність обробки на заданій операції (в нашому випадку – обробка отвору);
- 3) Можливість виконання у процесі роботи та зручність необхідних вимірів;
- 4) Надійність кріплення гільзи циліндру при найбільш заданому режимі роботи деформуючої протяжки;
- 5) Відсутність механічних ушкоджень та деформації заготівки під час її встановлення у пристосування;

6) Правильне та симетричне розташування оброблюваних поверхонь щодо пристосування і обробного інструменту;

7) Легкість встановлення деталі.

В якості матеріалу для виготовлення складових частин установочного пристрою обрано сталь 45. Його механічні властивості, а саме межа міцності на розтяг, згин та твердість цілком задовольняють заданим умовам обробки.

Конструкція пристрою складається із трьох частин. Перша із них – опорна плита 2 (див. рис. 11), є основою для встановлення оброблюваної деталі 1, а також тим елементом, який закріплюється на станині вертикального протяжного верстату або гідравлічного пресу.

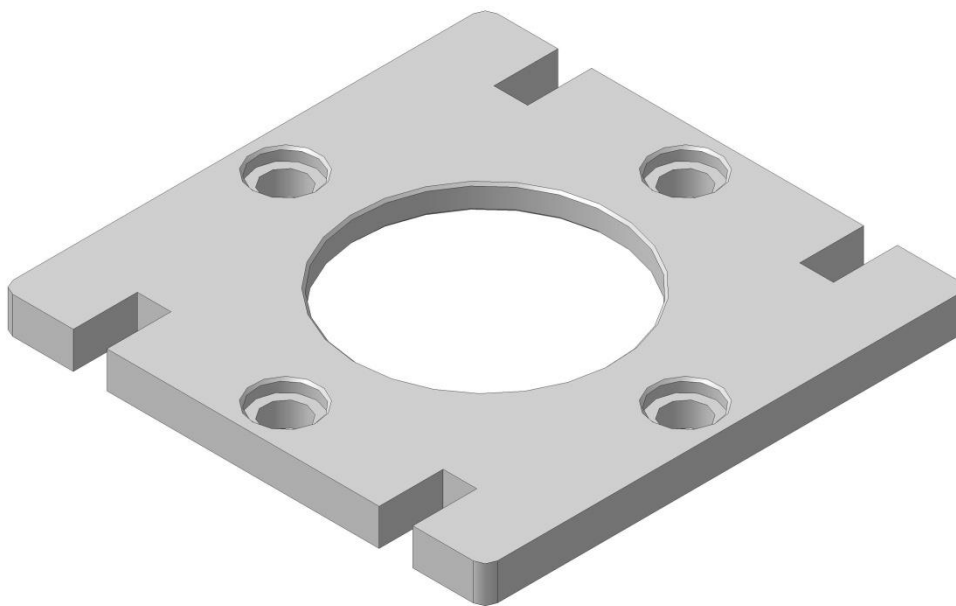


Рисунок 8 – Опорна плита збірного пристосування

В якості заготовки для виготовлення плити використовується сталевий лист товщиною 15 мм, в якому фрезеруються пази для кріпильних болтів, свердлиться центральний отвір для проходження інструменту під час його роботи, виточка для гільзи а також кріпильні отвори для опорних шпильок.

Другою частиною пристосування є шайба 3, яка служить верхньою опорою для гільзи циліндра та захищає її від бокових зміщень (див. рис. 9)

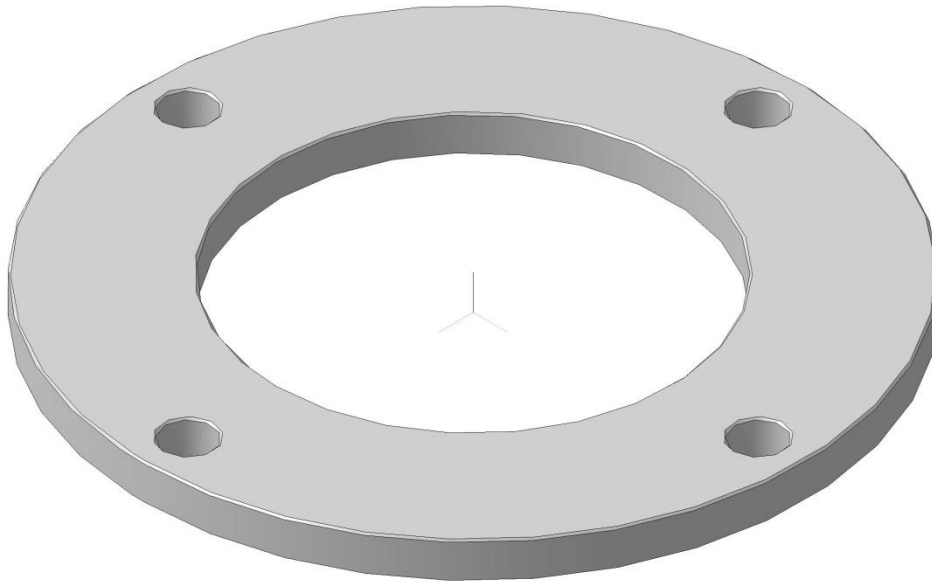


Рисунок 9 – Шайба (верхня опора)

Третя частина пристосування являє собою набір із чотирьох оригінальних стійок 4, які служать опорою для верхньої шайби (див. рис. 10).

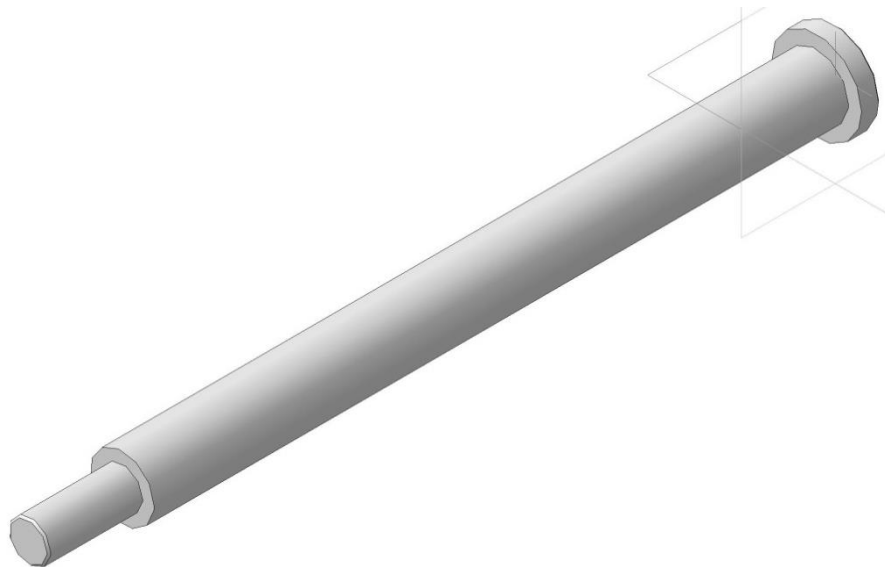


Рисунок 10 – Опорна стійка

Всі три частини пристосування з'єднуються поміж собою гайками M12x1,5 кількості чотирьох штук. Закріплення нижньої опори на станині верстата здійснюється чотирма стандартними болтами з Т-подібними хвостовиком.

Загальний вигляд установочного пристосування зображено на рисунку 11

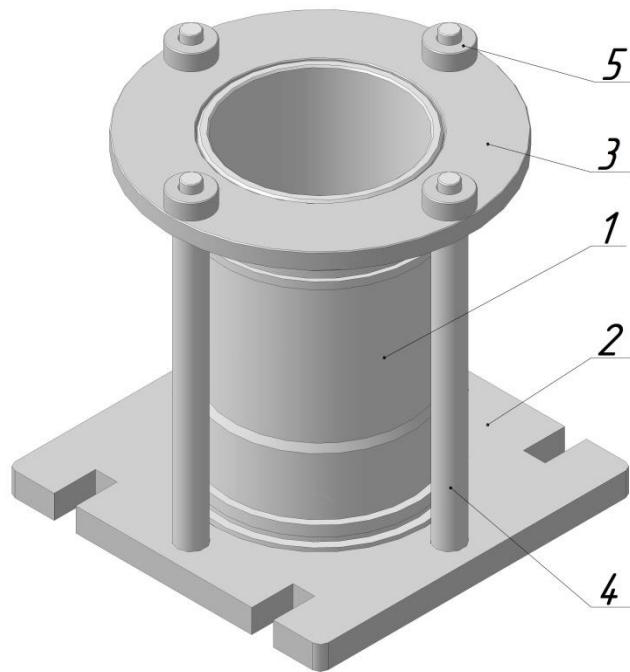


Рисунок 11 – Збірне установочне пристосування для обробки робочої порожнини гільзи циліндра ДВЗ

При фіксації гільзи циліндра ДВЗ в пристосуванні повинні дотримуватися наступних умов:

– під час обробки положення заготовки, яке досягнуто при її базуванні не повинне порушуватися;

– закріплення гільзи повинне бути надійним, щоб під час обробки її положення зберігалось незмінним;

– виникаючі при закріпленні пошкодження (наприклад – зминання) опорних поверхонь гільзи циліндра ДВЗ, а також її деформація повинні бути мінімальними і знаходитися в допустимих межах.

– для забезпечення контакту гільзи циліндра з опорним елементом пристосування і уникнення його можливого зрушення при закріпленні використовуємо виточку спеціальної форми.

### 3.2 Методика контролю параметрів шорсткості та точності форми обробленого отвору

Для контролю шорсткості обробленої поверхні деталі найбільш часто використовують спеціальні пристрої типу профілограф-профілометр (наприклад профілометр-профілограф HANDYSURF 550 від фірми ACCRETECH (Japan). Зазвичай, шорсткість поверхні вимірюється на всіх оброблених деталях до обробки (початкова шорсткість), а також після кожного циклу деформування. При цьому за допомогою індикаторів прибору контролюється параметр шорсткості поверхні  $R_a$ , а також проводиться запис профілограм мікрорельєфу на електронний або спеціальний паперовий носій. Окрім того, при контрольних вимірюваннях, а також у випадку розгляду отриманих рекламацій можливо використовувати профілограф-профілометр підвищеної точності «Talysurf-5» (виробництво Великобританія), що дозволяє визначати параметри шорсткості  $R_p$ ,  $R_{max}$ ,  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $t_p$ . Також на приборах такого типу є можливість вимірювати та записувати поперечну шорсткість.

Для гільз із внутрішнім діаметром отвору  $d=100$  мм, вимірювання виконується рівномірно у 5-10 перетинах по висоті. Для вимірювання внутрішнього діаметра отвору використовують нутроміри із індикаторної голівкою годинникового типу із ціною поділки 0,002 та 0,01 мм. Для оцінки профілю отвору гільзи ДВЗ також можливо використовувати пристрій «Talysurf-5» або HANDYSURF 550, які дозволяє контролювати профіль на довжині поверхні до 120 мм. Відхилення форми отвору у поперечному перетині оцінюється за показниками прибору та круглограмами, що записуються на відповідному обладнанні.

## Загальні висновки

1. Отримані результати вказують на можливість використання процесу деформуючого протягування для обробки гільз циліндрів ДВЗ (наприклад для двигунів внутрішнього згоряння ЗИЛ-130);

2. При використанні деформуючого протягування для обробки гільз із модифікованого чавуну можливо забезпечити шорсткість обробленої поверхні в межах  $Ra=0,5\dots0,75$  мкм при початковій шорсткості  $Ra=8$  мкм, що дає можливість замінити традиційні методи обробки таких деталей лезовим інструментом;

3. Деформуюче протягування гільз є сенс використовувати при забезпеченні високої початкової точності форми внутрішньої порожнини гільзи, так як деформуючі елементи погіршують форми отвору не виправляють;

4. Для деформуючого протягування гільз в якості технологічного змащення рекомендується використовувати рідке мінеральне мастило, або 5% розчин емульсора у воді.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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

2. Немировский Я.Б. Вплив умов базування на точність деталей, оброблених деформуючим протягуванням [Текст] / Я.Б. Немировский // Вісник Тернопільського національного технічного університету: Наук. журнал. – Тернопіль, ТНТУ, 2014. – №3 (75).– С.144-157

3. 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

4. Немировский Я.Б. Особенности деформирующего протягивания разнотолщинных заготовок [Текст] / Я.Б. Немировский // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. пр. / Кіровогр. нац. техн. ун-т. – Кіровоград, 2013. – Вип. 26. – С. 135–142.

5. Підвищення ефективності обробки отворів у деталях із чавунів комбінованим протягуванням [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Єрьомін Павло Миколайович ; Кіровогр. нац. техн. ун-т. - Кіровоград, 2015. - 21 с. : рис.

5. Nemirovskyy Ya. Issues about limit plastic deformatons 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

6. 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: междун. науч.- техн. сб. – Харків: НТУ України «ХПІ», 2014. – Вип. 1(24). – С.109-121

7. Чернявський О.В. Обробка круглих отворів протягуванням. Навч. посібник для ВНЗ. – Кіровоград, 2008 – 72 с.

8. 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.

9. 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

10. Розенберг О. А. Исследование процесса комбинированного протягивания гильз двигателей внутреннего сгорания из антифрикционных легированных чугунов / О. А. Розенберг, С. Ф. Студенец, В. В. Мельниченко // Сучасні технології в машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Х.: Видав. Харків НТУ «ХПІ», 2010. Вип. 4, С. 161-169

11. Панченко А.І., Волошина А.А., Болтянский О.В., Стефановський О.Б., Мілаєва І.І., Волошин А.А. Конструкція автотракторних двигунів. Посібник-практикум.– Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2020. – 225 с.

12. Будова та експлуатація автомобіля. Частина 1. Двигун внутрішнього згоряння. Посібник до лабораторних робіт: для здобувачів спеціальності 014.10 Середня освіта (автосправа) та 015.38 Професійна освіта (Транспорт) / Укл. Люлька В.С., Коньок М.М., Перинський Ю.Є., Бивалькевич Л.М. Чернігів: НУЧК імені Т.Г. Шевченка, 2023. 153 с.

13. Трактори і автомобілі [текст]: Навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050503 “Машинобудування” денної та заочної форм навчання / уклад. Л.М. Дацюк, М.В. Вржещ. Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – 236 с.

14. Методичні вказівки до лекційних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Трактори та автомобілі (конструкція)» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» спеціальності 208 «Агроінженерія» денної форми навчання [Електронне видання] / Марчук М.М., Морозов Ю.В. – Рівне : НУВГП, 2021. – 256 с.

