

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 протяжки для
обробки переривчастих отворів у
гідророзподільнику HD-00.002»**

Виконав здобувач вищої освіти 4 курсу групи

ПМ-22мб-3

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

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Артем НЕЛЕПА

Керівник роботи к.т.н., ст. викладач

_____ Павло ЄРЬОМІН

Рецензент: _____

Кропивницький 2025

Центральноукраїнський національний технічний університет

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

« ____ » _____ 2025 р.

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

Нелепи Артема Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вдосконалення конструкції протяжки для обробки
переривчастих отворів у гідророзподільнику HD-00.002.

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

3. Строк подання роботи до захисту « ____ » червень 2025 р.

Затверджено наказом ЦНТУ від _____ 2025 року № _____

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є підвищення ефективності обробки переривчастих отворів в корпусних деталях із чавуна методом деформуючого прошивання на основі створення нової конструкції збірної інструмента із твёрдосплавними деформуючими елементами.

Завдання:

- дослідити стан питання щодо використання деформуючого прошивання при обробці переривчастих отворів у корпусних деталях із чавуну;
- розробити інструмент для виконання обробки переривчастих отворів у корпусних деталях із чавуну, який оснащений твёрдосплавними деформуючими елементами;
- розробити рекомендації по режимам обробки та методу виготовлення робочих твёрдосплавних елементів;
- обрати необхідне обладнання для виконання даної операції.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № п/п | Назва етапів роботи | Строк виконання етапів роботи | При- мітка |
|----------|--|----------------------------------|---------------|
| 1 | Опрацювання навчальної та наукової літератури | 8 квітня 2025 р. | вик. |
| 2 | Виконання загальної частини | 15 квітня 2025 р. | вик. |
| 3 | Виконання технологічної частини | 07 травня 2025 р. | вик. |
| 4 | Виконання конструкторської частини | 15 травня 2025 р. | вик. |
| 5 | Розробка креслеників та схем | 26 травня 2025 р. | вик. |
| 6 | Усунення недоліків після перевірки керівником роботи | 8 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 _____ Артем НЕЛЕПА
(підпис)

Керівник роботи _____ Павло ЄРЬОМІН
(підпис)

Артем Нелепа. Вдосконалення конструкції протяжки для обробки переривчастих отворів у гідророзподільнику HD-00.002. Кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «бакалавр»: ЦНТУ, м. Кропивницький, 2025 р. – 50 с. Матеріали презентації – схеми та креслення загальним обсягом 7,375 л. ф.А1.

Метою роботи є вдосконалення конструкції протяжки для обробки переривчастих отворів у гідророзподільнику HD-00.002 для гідравлічних систем вантажних автомобілів та тракторів, зменшення працемісткості виготовлення корпусу гідророзподільника, підвищення продуктивності обробки та зменшення собівартості виготовленої продукції.

Вдосконалення конструкції досягається шляхом ґрунтовного аналізу існуючого технологічного процесу обробки отворів у типових корпусних деталях, виявлення його недоліків та компонентів, що потребують доробки та покращення. Також у кваліфікаційній роботі проводиться аналіз конструкції деталі типу корпус, її матеріалу та способу отримання заготовки. У технологічній частині роботи здійснено вибір верстатного обладнання, збірного інструменту та затискних пристосувань. Виконано розрахунок натягу на окремий робочий деформуючий елемент та режимів прошивання. Конструкторська частина містить розроблену схему деформуючої збірної прошивки та затискного (установочного) пристосування переривчастих отворів у гідророзподільнику HD-00.002.

Актуальність. Розробка удосконаленого технологічного процесу обробки та збірної прошивки для обробки переривчастих отворів у гідророзподільнику HD-00.002 є актуальною практичною задачею, тому що до теперішнього часу в Україні експлуатується значна кількість вантажних автомобілів та тракторів різних марок із встановленими гідравлічними системами.

Практичне значення. У кваліфікаційній роботі було виконано аналіз існуючого заводського технологічного процесу обробки переривчастих

отворів у гідророзподільнику HD-00.002 та запропоновані заходи щодо вдосконалення конструкції протяжного інструмента. Разом з тим представлено розроблену конструкцію затискного пристрою для його закріплення на верстаті.

Ключові слова: технологічний процес, корпус гідророзподільника, чавун, автомобіль, трактор, деформуюча прошивка, обробка переривчастих отворів.

ABSTRACT

Artem Nelepa. Improvement of the design of the broach for machining intermittent holes in the HD-00.002 hydraulic distributor. Qualification work for the educational degree «Bachelor»: CUNTU. Kropyvnytskyi, 2025 - 50 p. Materials of presentations - schemes and graphic drawings with a total volume of 7,375 sheets of A1 format.

The purpose of the work is to improve the design of the broach for machining intermittent holes in the hydraulic distributor HD-00.002 for hydraulic systems of trucks and tractors, to reduce the labor intensity of manufacturing the hydraulic distributor body, to increase processing efficiency and to reduce the cost of manufactured products.

The design improvement is achieved through a thorough analysis of the existing technological process for machining holes in typical housing parts, identifying its shortcomings and components that need to be modified and improved. The qualification work also analyzes the design of the body-type part, its material, and the method of obtaining the workpiece. In the technological part of the work, the selection of machine tools, assembly tools, and clamping devices was carried out. The tension on a separate working deforming element and the piercing modes were calculated. The design part contains the developed scheme of deforming prefabricated firmware and clamping (installation) device for intermittent holes in the hydraulic distributor HD-00.002.

Topicality. The development of an improved machining process and prefabricated firmware for machining intermittent holes in the HD-00.002 hydraulic distributor is an urgent practical task, since a significant number of trucks and tractors of various brands with installed hydraulic systems are currently in operation in Ukraine.

Practical meaning. The qualification work analyzed the existing factory technological process for machining intermittent holes in the hydraulic distributor HD-00.002 and proposed measures to improve the design of the broaching tool. At the same time, the developed design of the clamping device for its fixation on the machine is presented.

Key words: technological process, hydraulic distributor body, cast iron, car, tractor, deformable firmware, processing of intermittent holes.

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

**«Вдосконалення конструкції протяжки для обробки переривчастих
отворів у гідророзподільнику HD-00.002»**

КРБ.ПМ.25.13.70.00.00 ПЗ

Виконав здобувач вищої освіти 4 курсу
групи ПМ-22мб-3
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D-друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ **Артем НЕЛЕПА**

Керівник роботи к.т.н., ст. викл.

_____ **Павло ЄРЬОМІН**

Кропивницький 2025

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 9 |
| 1 Огляд літературних джерел згідно теми, мета та задачі роботи | 9 |
| 1.1 Технологічна частина. Вихідні дані | 9 |
| 1.2 Огляд існуючих конструкцій інструментів для деформуючого протягування та прошивання | 12 |
| 1.3 Висновки та задачі кваліфікаційної роботи | 15 |
| 2 Конструкторська частина. Розробка конструкції деформуючої протяжки для обробки робочої порожнини корпусу гідророзподільника HD-00.002 | 15 |
| 2.1 Аналіз традиційної технології механічної обробки отвору гідророзподільника | 15 |
| 2.2 Характеристика сучасного технологічного методу чистової (фінішної) обробки отворів розподільників протягуванням або прошиванням | 19 |
| 2.3. Обґрунтування необхідності розробки інструменту для обробки переривчастих поверхонь | 21 |
| 2.4 Характеристика та аналіз технологічності конструкції об'єкта виробництва | 22 |
| 2.5 Розробка конструкції збірного інструменту для обробки переривчастих отворів | 24 |
| 2.6 Розрахунок на міцність твердосплавних деформуючих елементів ... | 29 |
| 2.7. Розрахунок на міцність різьбового з'єднання | 34 |
| 2.8 Розробка технологи виготовлення робочих елементів прошивки | 37 |
| 3 Розробка конструкції пристосування для обробки отвору у корпусі гідророзподільника HD-00.002 | 43 |
| 3.1 Будова і принцип роботи пристосування для закріплення корпусу гідророзподільника при деформуючому прошиванні | 43 |
| Загальні висновки | 46 |
| Список використаних джерел | 47 |
| Додатки | 50 |

ВСТУП

Нерівножорсткі деталі – це конструктивні елементи машин або споруд, жорсткість яких змінюється по їхній довжині, площі перетину або в різних напрямках. Інакше кажучи, жорсткість у різних частинах деталі є різною. Обробка таких деталей потребує особливої уваги та спеціальних технологій, які враховують їх нерівномірну жорсткість під час обробки робочих поверхонь. Корпуси гідравлічних розподільників, які є представниками таких деталей, мають широке застосування в системах гідроприводу робототехнічних комплексів, а також в автомобільній та сільськогосподарській техніці. Основним робочим елементом гідророзподільника є золотникова пара, робочі поверхні якої потребують обробки з високою точністю, а сама поверхня повинна мати низьку шорсткість та високу зносостійкість. Окрім того, обробка переривчастих отворів в чавунних корпусах гідророзподільників має ряд особливостей, які потребують застосування спеціалізованого різального інструменту. Такий інструмент має високу вартість та обмежений строк служби його робочих поверхонь. Відомі способи обробки названих деталей є енергоємними та малоефективними, тому пошук шляхів для удосконалення способів обробки робочих поверхонь переривчастих отворів гідророзподільника є актуальною задачею.

1 Огляд літературних джерел згідно теми, мета та задачі роботи

1.1 Технологічна частина. Вихідні дані

Деформуюче протягування є одним з ефективних методів обробки отворів у деталях складної форми, зокрема в корпусах гідророзподільників, які належать до категорії нерівножорстких деталей. Такий тип деталей характеризується зміною жорсткості по довжині та в різних напрямках, що

обумовлено наявністю змінного перерізу, ребер жорсткості, отворів та технологічних виступів.

У процесі деформуючого протягування в отворі деталі за допомогою спеціального інструменту (протяжки або прошивки) відбувається пластична деформація матеріалу, внаслідок якої покращуються геометрична точність і шорсткість поверхні. При цьому важливим аспектом є правильний вибір параметрів обробки, оскільки нерівномірна жорсткість корпусу може призводити до деформацій, відхилень форми отворів та зміщення осі отвору під час або після обробки.

До особливостей обробки корпусів гідророзподільників відносяться:

- наявність тонких стінок та ребер жорсткості, що зумовлює нерівномірний опір деформації;
- ризик виникнення залишкових напружень та порушення взаємного розташування отворів;
- необхідність попереднього технологічного аналізу для визначення оптимального порядку та режимів протягування.

Для забезпечення стабільної якості обробки використовують:

- попередню механічну обробку отворів з припуском під протягування;
- використання багатоступеневих протяжок або прошивок зі змінною геометрією робочих елементів;
- застосування технологічних пристосувань для фіксації корпусу гідророзподільника та компенсації його деформацій.

Завдяки деформуючому протягуванню досягається підвищення міцності та довговічності гідророзподільників, знижується знос отворів, покращується герметичність та якість з'єднань.

При експлуатації робототехнічних верстатних комплексів, а також автотракторних та верстатних гідросистем постійно використовуються спеціальні гідравлічні апарати - напрямні гідророзподільники [9].

Гідравлічний розподільник HD-00.002 встановлюється на різні марки вітчизняних і закордонних вантажних автомобілів, комбайнів та тракторів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Використання розподільників HD-00.002

| Позначення | Застосовність | Завод-виробник машини |
|------------------------|---|--|
| Розподільник HD-00.002 | МТЗ-80 і мод., МТЗ-82 і мод. МТЗ-570 (МТЗ-50), МТЗ-572 (МТЗ-52) | ВО «Мінський тракторний завод» |
| | ЮМЗ-6АМ, ЮМЗ-6АЛ, ЮМЗ-6КМ, ЮМЗ-6КЛ | ГППО «Південний машинобудівний завод ім. А. М. Макарова» |
| | Т-28Х і мод., МТЗ-80Х | ВО «Ташкентський тракторний завод» |
| | Комунальні машини на базі автомобілів ГАЗ, ЗИЛ, КАМАЗ, МАЗ, КрАЗ та ін. | ГАЗ, ЗИЛ, КАМАЗ, МАЗ, КрАЗ |

В конструкції розподільника застосована золотникова пара, яка є регулюючим пристроєм зі зворотно-поступовим переміщенням золотнику відносно корпусу (рис 1.1).

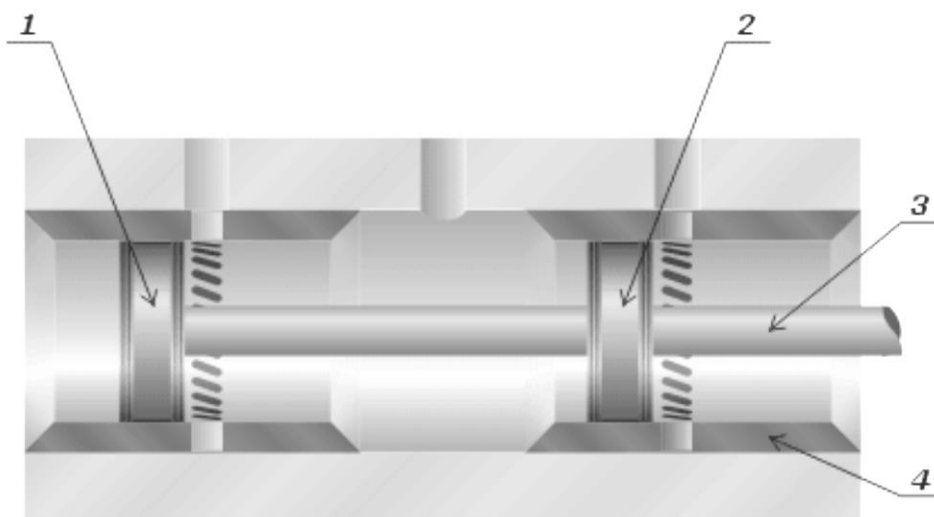


Рисунок 1.1 – Принципова схема прецизійної золотникової пари розподільного пристрою: 1, 2 – запірні штоки; 3 – золотник; 4 – корпус

Характер відносних переміщень деталей таких пар залежить від зміни тиску робочої рідини. При роботі деталі пари золотникових регулюючих пристроїв безперервно або періодично здійснюють відносно одне одного зворотно-поступовий рух з різною амплітудою та частотою.

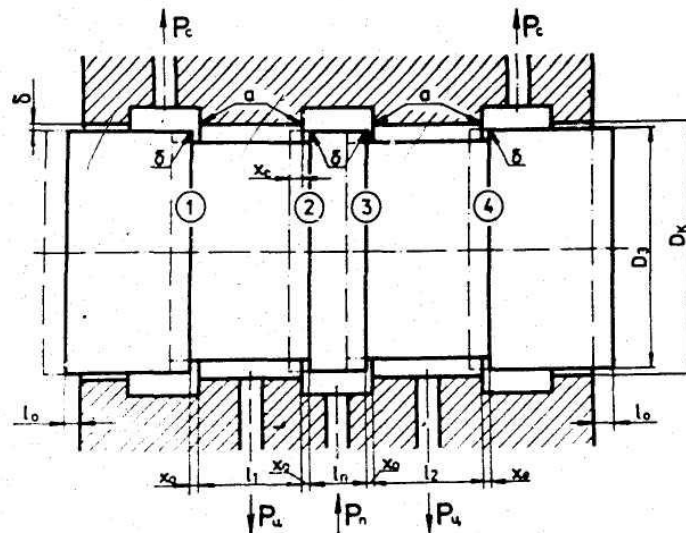


Рисунок 1.2 – Схема золотникової пари розподільника у нейтральному положенні

1.2 Огляд існуючих конструкцій інструментів для деформуючого протягування та прошивання

1.2.1 Аналіз конструктивних рішень збірного протяжного інструменту

Протяжний інструмент, в основному збірної конструкції, найбільш поширений в технологіях обробки внутрішніх циліндричних отворів в корпусних деталях різного призначення, вісесиметричних втулках, пальцях та гільзах циліндрів двигунів внутрішнього згорання. Його застосовують у вигляді спеціального оснащення для вертикально-протяжних верстатів та гідравлічних пресів.

Забезпечення в процесі протягування пластичної деформації за рахунок деформуючих елементів та їх блоків із твердих сплавів групи ВК дозволяє

значно збільшити ефективність цього процесу у порівнянні з протягуванням різальною протяжкою, а саме:

- підвищити геометричну точність отворів на 30...35% (отримати отвір 6...9-го квалітету точності);
- зменшити шорсткість обробленої поверхні до значень $Ra=0,26...0,32$ мкм;
- підвищити зносостійкість та довговічність обробленої поверхні отвору.

Типова конструкція деформуючої протяжки представлена на рис. 1.3.

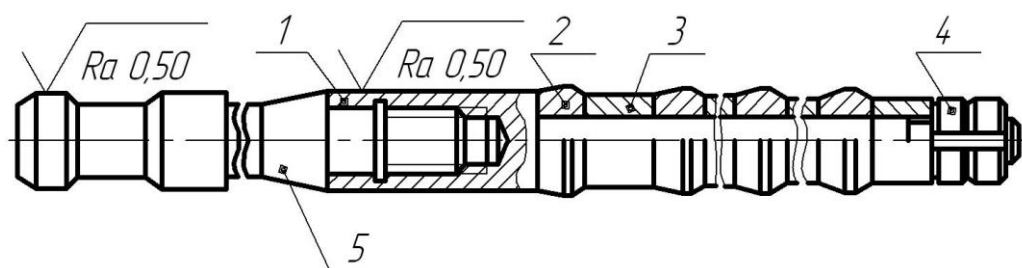


Рисунок 1.3 – Деформуюча протяжка збірної конструкції.

Вона складається з хвостовика 5, напрямні 1 та 3 виготовлені із інструментальної сталі. Деформуючі елементи 2 і задній хвостовик розташовані на певній відстані один від одного за допомогою дистанційних втулок 3. Деформуючі елементи, як правило, виготовлені із твердого сплаву групи ВК. Вони затиснуті на стержні за допомогою гайки 4 та заднього хвостовика.

Деформуюча частина протяжки може бути виготовлена у вигляді окремих елементів або блоку. Якщо натяг на кожний деформуючий елемент складає десяті долі міліметра, а сумарний натяг на всі елементи не перевищує 1 мм, то такі протяжки називають вигладжувальними. При сумарному натягу більшому за 1 мм вони називаються деформуючими.

Для обробки отворів при відсутності у протяжному верстаті допоміжної каретки інструмент може бути виконаний без заднього хвостовика (рис. 1.4).

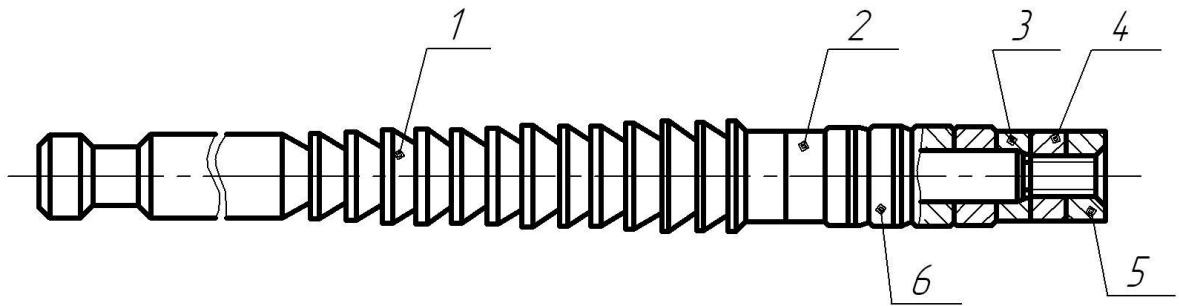


Рисунок 1.4 – Різально-деформуюча (комбінована) протяжка без заднього хвостовика.

Тоді за деформуючими елементами 6 на стержні 2 розташовують задню напрямну втулку 3, які затискаються на стержні гайкою 4 та контргайкою 5.

В останній час для протягування циліндричних отворів відносно великих діаметрів ($d_0 \geq 30$ мм) використовують інструменти збірної конструкції із твердосплавними робочими елементами. Типовий приклад конструкції такої протяжки показаний на рис. 1.5.

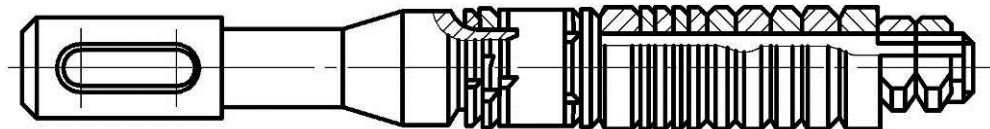


Рисунок 1.5 – Деформуюча протяжка з деформуючими елементами

Протяжка має оправку, на якій розташовані деформуючі (вигладжуючі) елементи. На оправці установлена дистанційна втулка, яка виконує функцію проміжної напрямної. Робочі елементи протяжки затиснуті гайкою та контргайкою. Подібні протяжки дозволяють замінити такі трудомісткі операції, як розточування, хонінгування та розвертання при забезпеченні високої зносостійкості інструменту. Як свідчить практичний досвід, при обробці деталей із сірого чавуну стійкість протяжок між переточками із твердого сплаву ВК10М дорівнює 5000...6000 м довжини протягування, що більш ніж у 40 разів перевищує стійкість протяжок з робочими елементами із швидкорізальної сталі.

1.3 Висновки, мета та задачі кваліфікаційної роботи

У результаті проведеного огляду літературних джерел та їх аналізу можливо зробити наступні висновки:

Спосіб деформуючого протягування або прошивання цілком придатний для високоточної обробки циліндричних отворів в нерівножорстких деталях типу корпус гідророзподільника.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка технології та конструкції збірної деформуючої протяжки для високоточної обробки робочої порожнини корпусу гідророзподільника. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- на основі виконаного аналізу відомих способів обробки отворів корпусних деталей машин підібрати вдосконалений спосіб обробки, якій буде простішим та дешевшим ніж традиційні;

- розробити нову технологію та конструкцію деформуючого збірного інструмента для обробки переривчастих отворів корпусу гідророзподільника методом прошивання;

- виконати технологічні розрахунки;

- розробити конструкцію установочного пристосування для обробки деталі типу корпус гідророзподільника.

2 Конструкторська частина. Розробка конструкції деформуючої прошивки для обробки робочої порожнини корпусу гідророзподільника HD-00.002

2.1 Аналіз традиційної технології механічної обробки отвору гідророзподільника

Корпус розподільника (рис. 2.1–2.4) виготовлений із сірого чавуну марки СЧ20 ГОСТ 1412–85 із твердістю HB 170...241. Він має наступні механічні властивості: межа міцності при розтягу – 200 МПа, при згині – 400 МПа.

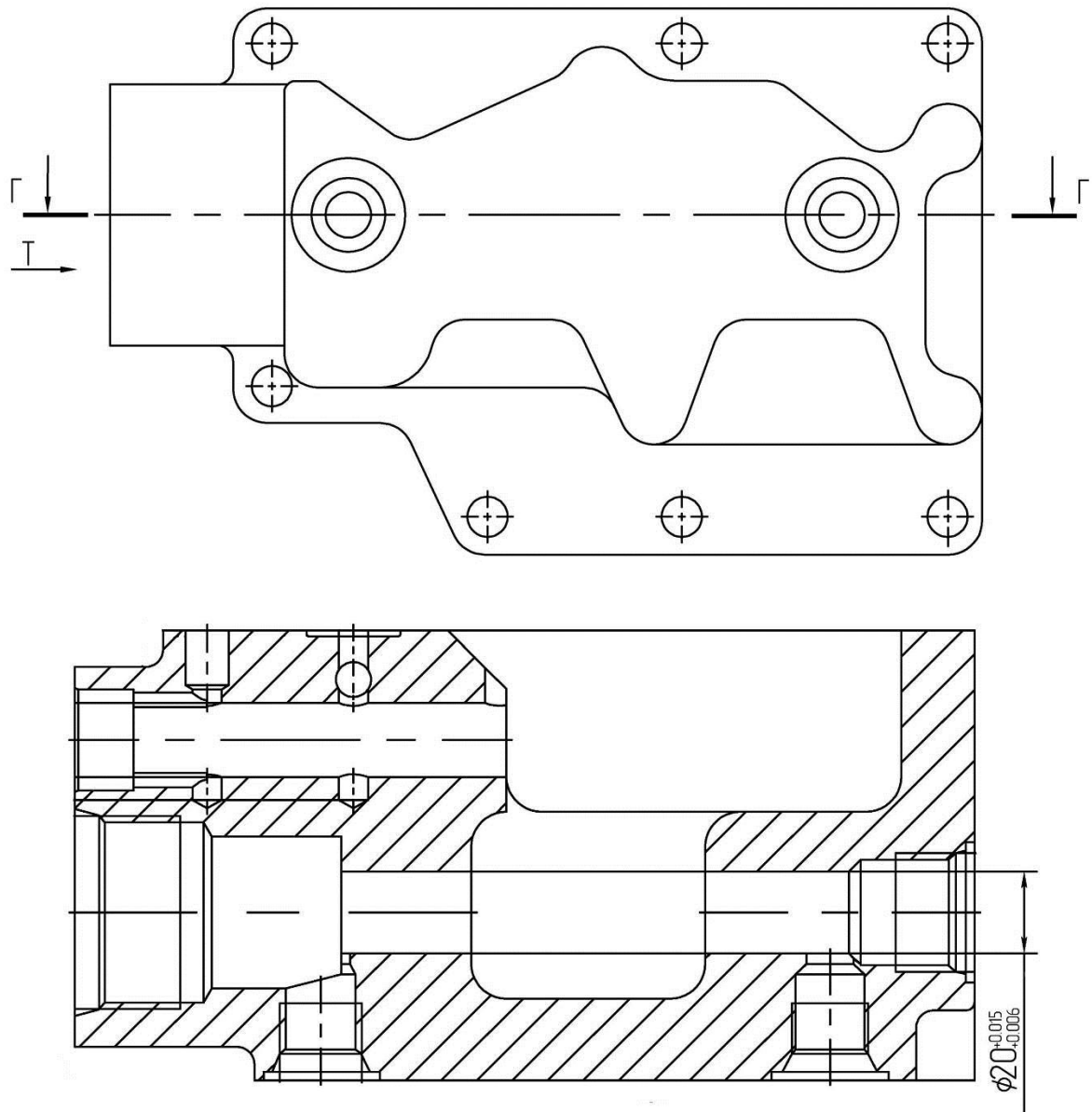


Рисунок 2.1 – Корпус гідророзподільника в перетині

В наскрізному отворі в гідророзподільника є кільцеподібні проточки, до котрих по просвердленим каналам підводиться та відводиться робоча рідина (мастило). Цей отвір в корпусі гідророзподільника обробляється за дев'ятим квалітетом та має розмір $20^{+0,015}_{+0,006}$ мм і шорсткість поверхні $Ra=0,40$ мкм. До особливо точних циліндричних отворів корпусів гідророзподільника за існуючими технічними вимогами ставляться високі вимоги, а саме: точність діаметрального розміру – не нижча ніж 5 мікрометрів;

похибка геометричної форми (конусність та овальність) – у межах допуску на вказану групу, тобто не більше ніж 6 мікрометрів.

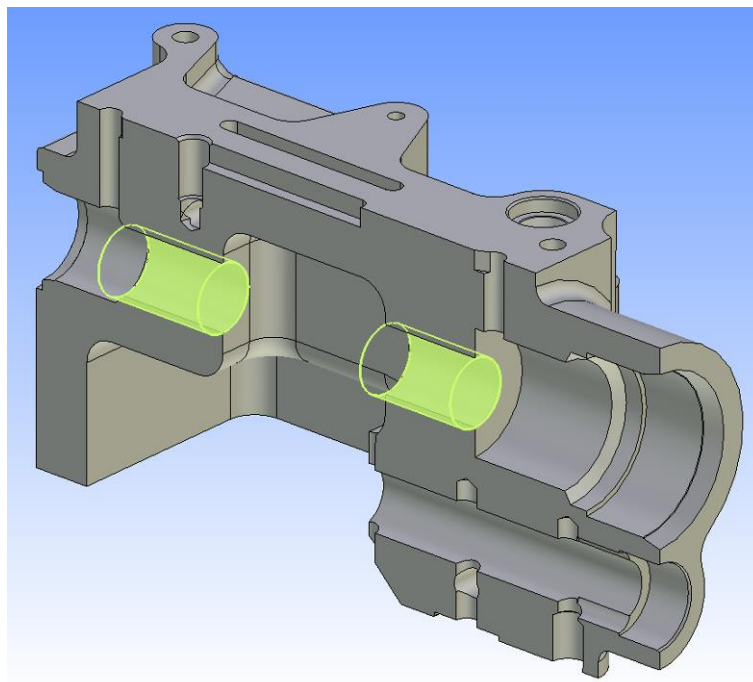


Рисунок 2.2 – Оброблювані поверхні отвору

Золотник виготовлений із спеціальної зносостійкої сталі марки ШХ15 (ГОСТ 801-78). Золотник має циліндричну форму із 2-ма кільцевими проточками. Поверхня золотника, яка контактує з отвором корпусу, має діаметр розміром $\varnothing 19,98 \dots 19,985$ мм та шорсткість $Ra=0,63$ мкм. В технічній документації вказуються вимоги щодо забезпечення гостроти кромки отворів. Радіальний зазор у золотниковій парі складає $\delta = D_k - D_z = (0,006 - 0,012) \cdot 10^{-3}$ м. Потрібний робочий зазор у золотниковій парі забезпечується її селективним складанням, за яким деталі попередньо ретельно сортуються на десять розмірних груп із кроком між ними у 6 мікрометрів.

Умови навантаження золотникової пари обумовлені тим, що вмикання гідророзподільника здійснюється одночасно осьовим переміщенням золотника та подоланням опору попередньо стисненої центральної пружини. При цьому, золотник сприймає як осьове навантаження від центральної пружини так і тиск робочої рідини.

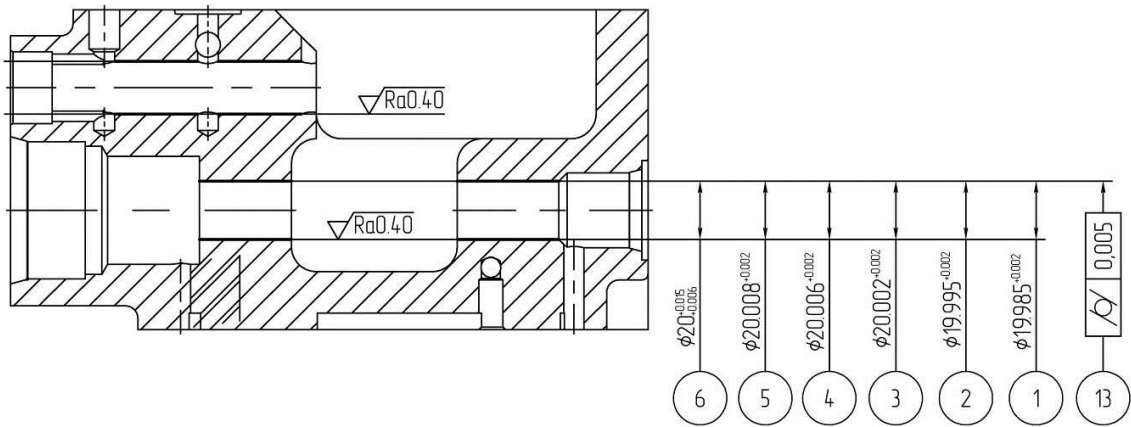


Рисунок 2.3 – Розміри оброблюваного отвору корпусу гідророзподільника

Як відмічається у роботі [9], особливістю праці пари «золотник-корпус» є незначні переміщення (з різною амплітудою та частотою) золотника відносно корпусу, під дією змінного тиску робочої рідини. При пульсації тиску робочої рідини золотник здійснює вібраційні переміщення в осьовому напрямі. Амплітудне переміщення золотника складає до $1,2 \cdot 10^{-3}$ м.

Пульсація робочої рідини (мастила) призводить до вібраційних багаторазових переміщень в осьовому напрямі, внаслідок чого за даними виникає явище схоплення на ділянках контакту. Особливості роботи золотникової пари підтверджені багатьма дослідженнями [7,9], які вказують на втомленісний характер зносу деталей пари.

За даними з літературних джерел [9], в умовах експлуатації технічний стан гідроагрегатів ГПР погіршується, що спричиняє спрацювання підшипників валу черв'яка. Внаслідок цього, золотник зміщується, перекошується, контактує з корпусом. Це, у свою чергу, призводить до інтенсивного зносу отвору корпусу та золотника у діаметрально протилежних місцях. Причинами зносу є великі питомі тиски в місцях контакту поверхонь деталей золотникової пари та осцилюючі відносні рухи золотника. Зміна форми і розміру деталей золотникової пари впливають на ймовірність виникнення несправностей при їх роботі.

Для визначення способу підвищення довговічності деталей важливе значення має встановлення характеру та величини зношування. Природа процесів зношування вказує, що при виборі способу виготовлення корпусу необхідно прагнути до зменшення шорсткості поверхні отвору та створення в поверхневому шарі напружень стиснення, що підвищить здатність поверхні чинити опір схоплюванню і втомі. При цьому повинна забезпечуватися висока точність обробки.

В якості прикладу в табл. 2.1 приведено технологічний маршрут обробки переривчастого отвору $\varnothing 20^{+0,015}_{+0,005}$.

Таблиця 2.1

| № п/п | Найменування операції | Шорсткість поверхні Ra, мікрометрів | Діаметр обробленого отвору, мм | Машинний час на обробку |
|-------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Отвір | | | | |
| 1. | Свердління | 4,0 | $\varnothing 18^{+0,2}$ | 1,23 |
| 2. | Чорнове зенкерування | 2,5 | $\varnothing 19,80^{+0,12}$ | 3,25 |
| 3. | Чистове зенкерування | 0,63 | $\varnothing 19,95^{+0,03}$ | 4,38 |
| 4. | Алмазне розвертання | 0,4 | $\varnothing 20^{+0,015}_{+0,005}$ | 4,44 |

Згідно з даними із таблиці, технологія традиційної механічної обробки переривчастого отвору гідророзподільника є дуже працемісткою.

2.2 Характеристика сучасного технологічного методу чистової (фінішної) обробки отворів розподільників протягуванням або прошиванням

В даний час для виготовлення отворів застосовуються різні технологічні схеми, які базуються на механічній обробці різанням.

З різноманітних деталей гідроагрегатів найбільш технологічно складним при виготовленні є обробка отвору під золотник, тому що вона характеризується деякими конструктивними особливостями корпусу. До них

відносяться: велике співвідношення довжини до діаметру, переривчастий характер отвору, високі технічні вимоги за точністю.

За традиційною технологією отвори корпусів можна оброблювати також протягуванням, розточуванням або розвертанням з наступним притиранням; алмазним хонінгуванням.

Переваги протягування отворів добре видно при співставленні його з тими методами обробки, які він замінює. При обробці деталей в технології машинобудування прийнято розрізняти чотири етапи: чорновий, напівчистовий, чистовий і фінішний. Так, при отриманні параметрів оброблюваного на свердлильному верстаті отвору по 7-му квалітету і з шорсткістю $Ra=0,16\dots0,63$ мкм, необхідно виконати всі чотири етапи обробки. Чорновий етап – двохкратне зенкерування попередньо просвердленого отвору, напівчистовий - попереднє розвертання, чистовий - остаточне розвертання і фінішний – притирання або доводка. При обробці цієї ж заготовки на протяжному верстаті всі вище перелічені етапи після чорнового зенкерування виконують одним інструментом – збірною протяжкою або прошивкою за один робочий (або зворотній в якості робочого) хід. Виконання декількох етапів обробки за один робочий хід інструменту є особливістю протягування і забезпечує високу продуктивність процесу.

Висока ефективність процесу протягування/прошивання пояснюється наступними основними його характеристиками:

- 1) великою площиною поверхонь робочих елементів, що одночасно беруть участь у деформуванні;
- 2) виконанням одним інструментом за один робочий хід декількох етапів обробки.

Можливості процесу протягування/прошивання визначаються насамперед можливостями інструменту. Стабільне одержання малої шорсткості поверхні ($Ra=0,63\dots1,25$ мкм) і високих фізико-механічних властивостей поверхневого шару практично не можна забезпечити без твердосплавних вигладжувальних елементів. Поява деформуючого

прошивання дала можливість для застосування високоефективної, майже безвідходної, технології виготовлення отворів.

Саме погіршення шорсткості обробленої прошиванням поверхні в багатьох випадках є критерієм зносу протяжки/прошивки. Якість обробленої поверхні, крім шорсткості, обумовлюється ще і фізико-механічними властивостями поверхневого шару, зокрема, зміцненням (наклепом) і залишковими напруженнями. Ступінь наклепу (підвищення твердості) поверхневого шару після прошивання може досягати 150...200% при глибині наклепу до 0,1 мм.

2.3 Обґрунтування необхідності розробки інструменту для обробки переривчастих поверхонь

Для забезпечення тривалої працездатності з'єднання «корпус – золотник» гідравлічних агрегатів існує потреба в обробці поверхні точних отворів під золотник. При виготовленні корпусів необхідна якість поверхні отвору досягається застосуванням складної та енергоємної технології, яка базується на обробці різанням. В сучасному виробництві доцільне та потрібне використання більш простого та енергозберігаючого способу. Таким способом може бути технологія, яка містить обробку отвору поверхневим пластичним деформуванням (ППД).

Основним обмеженням для матеріалів при ППД є величина відносного подовження при розтягуванні, а також твердість матеріалу деталі, що обробляється. Матеріали з відносним подовженням δ меншим за 6%, як правило, не обробляються або важко обробляються за допомогою методу поверхневої пластичної деформації. Останнім часом було встановлено, що це обмеження не відноситься до сірого і деяких легованих чавунів, які, незважаючи на малу величину δ , можна піддавати поверхнево-пластичній обробці.

При деформуючому прошиванні реалізується схема деформації, при якій в процесі обробки чавуну (матеріалу, якій має малу пластичність в звичайних умовах) створюється такий напружений стан, при якому має місце попередня пластична деформація поверхневого шару оброблюваної поверхні.

Враховуючи конструктивні особливості отворів корпусів гідророзподільників, серед яких можна виділити такі: малопластичний матеріал – чавун сірий СЧ20 з феритно-перлітною або перлітною структурою, наявність на стінках отворів масляних каналів, свердлень; високі вимоги до точності форми та якості поверхні прецизійних отворів (похибки форми не більші за 0,005 мм) можна сформулювати такі основні вимоги до функціональних параметрів інструменту, які треба врахувати при його розробці, а саме:

- фінішна обробка поверхні пластичним деформуванням з метою надання її підвищеної стійкості на спрацювання;
- обмеженість габаритних розмірів інструменту, тому що інструмент призначений для обробки отворів визначеного діаметру.

2.4 Характеристика та аналіз технологічності конструкції об'єкта виробництва

Розглянутим об'єктом виробництва є корпус гідророзподільника (рис. 2.4) з нерівномірною жорсткістю. Корпус є головною деталлю, виготовленою із сірого чавуну марки СЧ20. В наскрізному циліндричному отворі корпусу гідророзподільника є спеціальні кільцеві проточки, до яких по просвердленим каналам підводиться і відводиться робоча рідина (мастило). Даний отвір корпусу гідророзподільника обробляється за дев'ятим квалітетом, він має розмір $\varnothing 20^{+0,015}_{+0,005}$ мм та шорсткість поверхні не більш ніж Ra=0,28 мікрометрів. Для високоточних циліндричних отворів корпусів гідророзподільника ставляться серйозні вимоги, а саме:

- точність діаметрального розміру повинна бути не нижча, ніж 0,02 мм;

– оброблювана деталь по отвору сортирують на 4 групи: від 20,020 до 20,015 мм; менш ніж 20,015 до 20,010 мм; менш ніж 20,010 до 20,005 мм; менш ніж 20,005 до 20,000 мм;

– похибка геометричної форми (циліндричності та круглості) у межах допуску на групу – не більше за 0,02 мм;

– на поверхні циліндричного отвору не допускаються механічні пошкодження та ливарні дефекти типу раковин або тріщин;

– точність виливку корпусу 8-0-0-7 т ГОСТ 26645–75.

Хімічний склад сірого чавуну СЧ20 наведено у таблиці 2.1

Таблиця 2.1

| Оброблюваний матеріал | Вид деталі | C | Cr | Si | Mn | Ti | S | P | НВ, ГПа |
|-----------------------|------------------|------|------|-----|------|------|---|---|---------|
| СЧ20 | Втулки та зразки | 3,07 | 0,01 | 0,5 | 2,95 | 0,08 | - | - | 1,7 |

Існуючий технологічний процес обробки циліндричного отвору $\varnothing 20^{+0,015}_{+0,005}$ мм в корпусі гідророзподільника включає наступні операції:

- свердлування;
- чорнове та чистове зенкерування;
- алмазне розвертання з використанням комплекту, який складається з 4-х алмазних розверток.

Суттєвим недоліком існуючого технологічного процесу є досить низька продуктивність та висока вартість комплекту алмазних розверток. Розробка вдосконаленого технологічного процесу з використанням методу деформуючого прошивання дозволить суттєво підвищити продуктивність механічної обробки з використанням збірного інструменту, який має відносно низьку собівартість та значно більшу стійкість робочих елементів із твердого сплаву, ніж леза алмазних розверток.

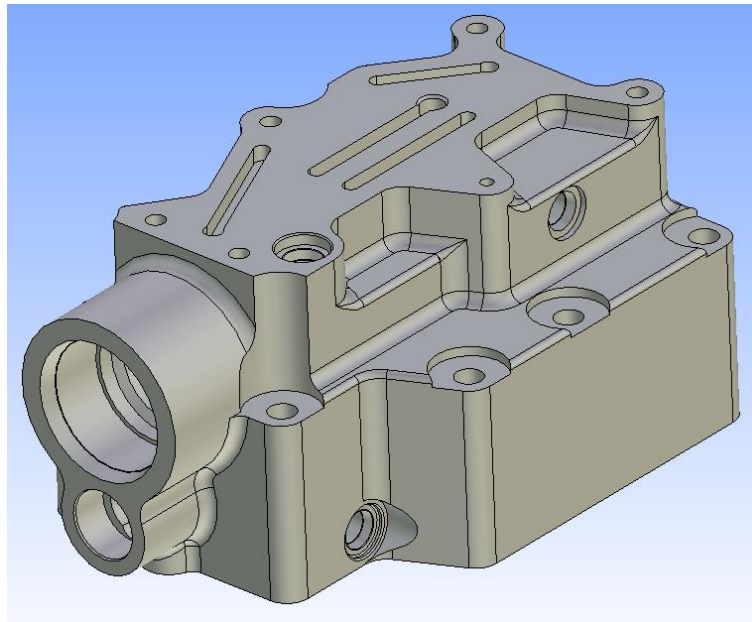


Рисунок 2.4 – Корпус гідророзподільника

2.5. Розробка конструкції збірного інструменту для обробки переривчастих отворів

Для обробки отворів чавунних корпусів було спроектовано інструмент, який дозволяє обробити переривчасту поверхню, не пошкоджуючи відсічних крайок поясків отвору (рис. 2.5).

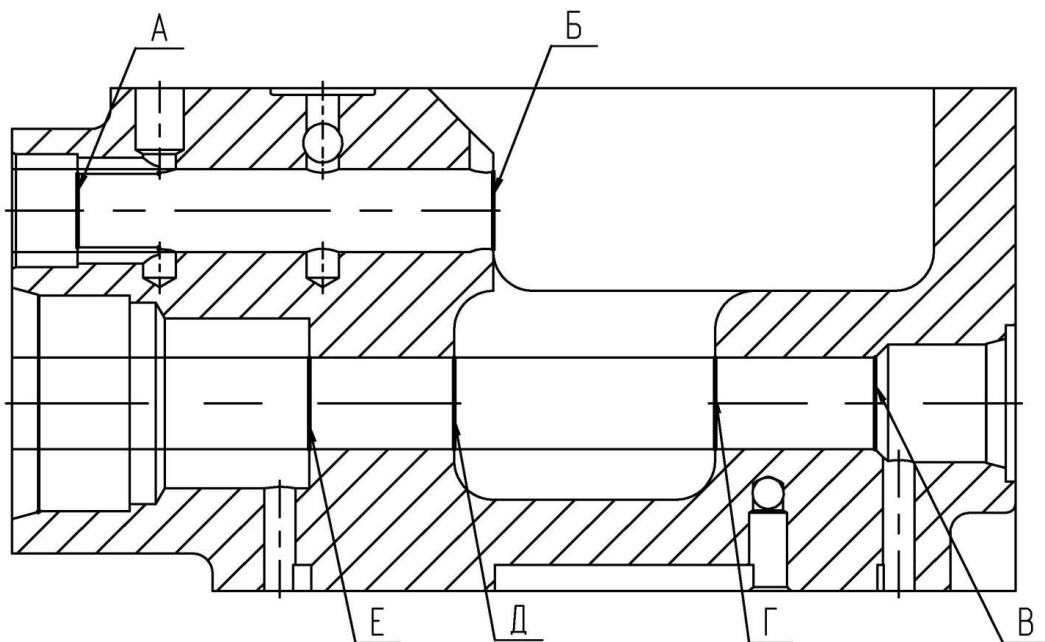


Рисунок 2.5 – Відсічні крайки поясків переривчастих отворів

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

1. Шорсткість поверхні не гірша за $Ra=0,32$ мкм,
2. Овальність не більше ніж 6 мкм,
3. Конусність не більше ніж 6 мкм,
4. Бочкоподібність або сідлоподібність не більші за 6 мкм.

Під час розробки представленого на рис. 2.6 конструктивного варіанту прошивки, дотримувались наступних принципів:

1) З метою забезпечення можливо максимальної продуктивності праці на операції прошивання, довжина інструменту, а відповідно й кількість робочих елементів повинні бути мінімальними.

2) Кількість деформуючих елементів прошивки повинна бути мінімальною, але достатньою для забезпечення заданої якості оброблених отворів.

Згідно рис. 2.6. 1-й блок деформуючої прошивки складається з трьох деформуючих елементів. Як показали результати експериментів [1-4], така кількість деформуючих елементів 1-го блоку є мінімальною з погляду забезпечення центрування оброблюваного отвору щодо осі інструмента та створення зміцнення поверхневого шару, що підлягає подальшій обробці.

Включення в першу деформуючу групу більше трьох деформуючих елементів дещо збільшує ступінь і глибину зміцнення поверхневого шару. Однак такий варіант є не дуже бажаним через необхідність подовження робочої частини інструменту, і, відповідно, зниження його продуктивності. Якщо застосувати лише один деформуючий елемент, то в такому випадку далеко не завжди можна створити зміцнення поверхневого шару, у зв'язку з коливанням діаметрального розміру оброблюваних отворів у припустимих межах, а також погрішності форми отвору.

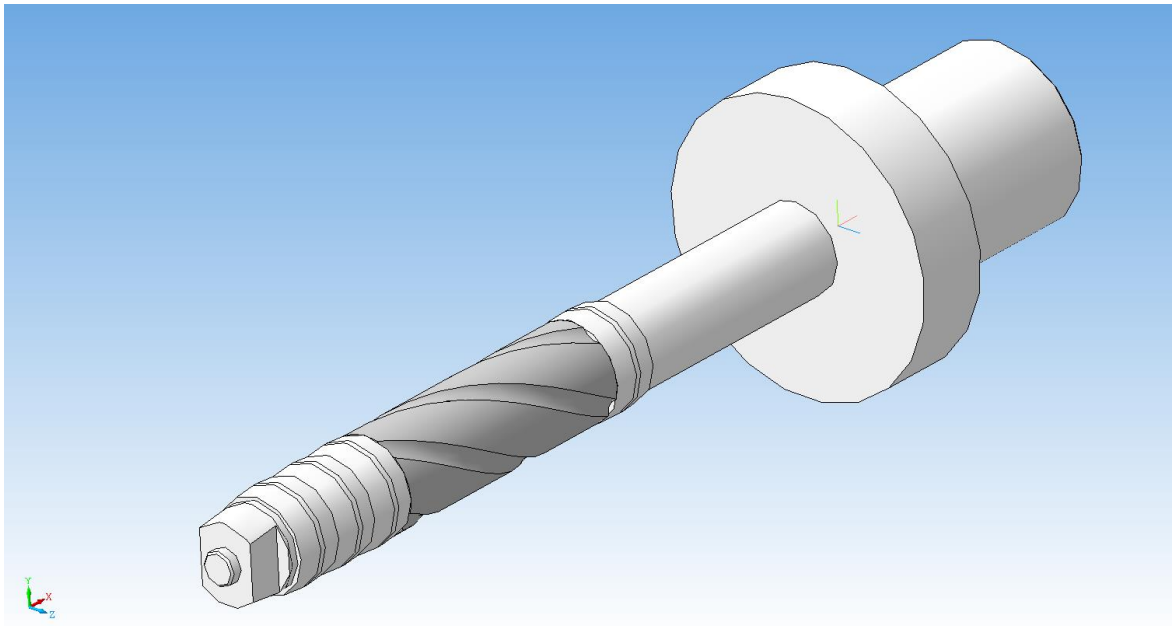


Рисунок 2.6 – Загальний вигляд деформуючої прошивки

Перший деформуючий елемент блоку призначений, насамперед, для центрування оброблюваного отвору деталі щодо осі прошивки, тому, у порівнянні з іншими деформуючими елементами, він має більшу довжину робочого конуса, що визначалася з урахуванням погрішності діаметра оброблюваного отвору та погрішності базування деталі в опорному фланці. Для забезпечення гарантованого натягу на передній деформуючий блок зовнішній діаметр першого деформуючого елемента був прийнятий рівним 19,8 мм. Це відповідає максимальному діаметру оброблюваного отвору, отриманого на попередній операції чорнового зенкерування, при цьому фактичний натяг на перший деформуючий елемент може змінюватися в межах погрішності діаметрального розміру отвору деталі. З метою створення високих контактних напруг зовнішнього шару оброблюваної порожнини, номінальний натяг на другий деформуючий елемент блоку 1 (див. рис. 2.6) був призначений рівним 0,05 мм, при цьому зовнішній діаметр другого деформуючого елемента склав 19,85 мм, а третього 19,9 мм.

Друга деформуюча група складається із одного деформуючого елемента $\varnothing 20^{+0,015}_{+0,005}$. При призначенні кількості деформуючих елементів цієї групи і величини номінального натягу на деформуючий елемент виходимо 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, 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° . Тому для всіх деформуючих елементів розглянутої прошивки кут твірної робочого конуса був прийнятий рівним 4° .

При виконанні операції прошивання виконавчий орган верстата, зазвичай, виконає робочий та зворотний або холостий рух. В даному випадку обробки, коли інструмент переміщається через переривчастий отвір оброблюваної деталі, зворотний конус деформуючих елементів прошивки в результаті наявності позаконтактної зони деформації [5,7] не має контакту з оброблюваним матеріалом і тому не деформує його. Тому вибору геометрії зворотного конуса деформуючих елементів особливої уваги не приділяють. 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.

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 [5,8]. Тому при деформуючому прошиванні деталей із чавуну необхідно враховувати цей ефект та обирати відповідні розміри деформуючих елементів. Якщо прийняти кут зворотного конуса деформуючих елементів рівним куту його робочого конуса, то площа контакту при взаємодії зворотного конуса з оброблюваною поверхнею буде дорівнювати тій частини площі контакту робочого конуса, що забезпечує 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 результати експериментів [6], істотних змін з оброблюваним матеріалом не відбувається. Про це 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 ніж кут твірної робочого конуса, то в такому випадку взаємодія зворотного конуса з поверхнею отвору при зворотному русі прошивки буде відбуватися по набагато меншій площі контакту, ніж при однаковості кутів $2...4^\circ$. Зменшення площі контакту приводить до відповідного росту контактних тисків на оброблювану поверхню та, відповідно, до більшої деформації мікронерівностей.

Вибір значень кута α 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 луцнення обробленої поверхні.

Прошивання отвору корпусу гідророзподільника можливо здійснювати на спеціальному гідравлічному пресі моделі 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 із різьбовим закріпленням у штоку гідропресу. Обробка прошиванням виконується замість операцій чистового зенкерування та ступінчастого алмазного розвертання, передбаченої заводським технологічним процесом.

Схему деформуючої прошивки показано на рис. 2.7

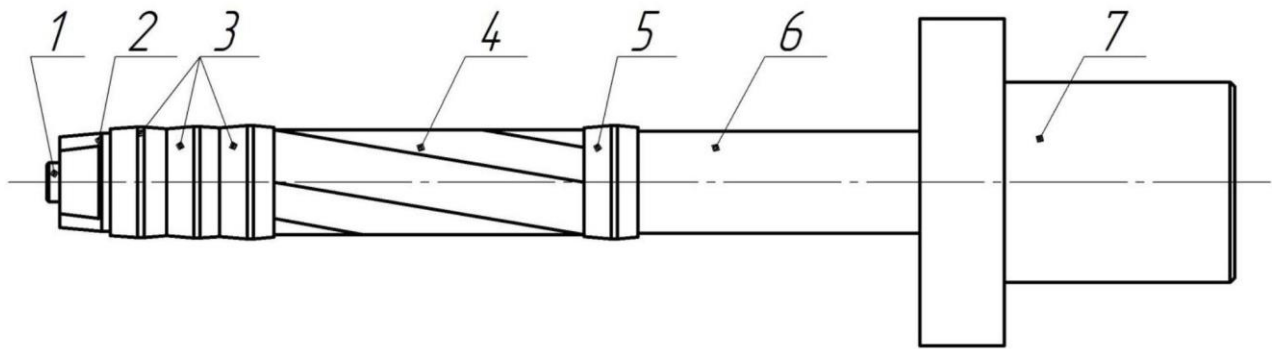


Рисунок 2.7 – Схема деформуючої прошивки

Прошивка складається з таких елементів: циліндричної оправки 1, стяжної гайки 2, переднього деформуючого блока з трьох елементів 3, гвинтової опорної втулки 4, другого деформуючого блоку з елементом 5, дистанційної втулки 6 та хвостовика 7.

Оправка представляє з себе ступінчастий циліндричний вал, на якому з обох його сторін нарізана різь. Різьбовий кінець вала розміром М12 служить для встановлення конусної кріпівної гайки, котра забезпечує тісне та міцне спряження робочих елементів на оправці. Інший кінець циліндричної оправки за допомогою різі вкручується у хвостовик, який в свою чергу служить для закріплення у штоку гідравлічного преса моделі П6302Б. Даний прес оснащений однією стійкою з індивідуальним приводом з зусиллям 100 кілоньютон. Закріплення інструмента відбувається жорстко за допомогою точного різьбового з'єднання. Дистанційна втулка забезпечує вільний наскрізний прохід робочих елементів прошивки через отвір гідророзподільника, що обробляється.

2.6. Розрахунок на міцність твердосплавних деформуючих елементів

Розрахунок деформуючих елементів на міцність буде виконуватись за методикою, що розроблена авторами [1]. 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 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:

$$t_k = 0,329 \cdot \frac{Q^{0,735} \cdot K_L \cdot 0,938^l}{f^{0,43} \cdot [\sigma_{uz}]^{0,735} \cdot D_K^{0,36}} \quad (2.1)$$

де Q – сила протягування;

K_L – коефіцієнт висоти деформуючого елемента (відношення фактичної висоти (рис. 2.8) деформуючого елемента до його оптимальної висоти L_{opt} , значення якого приведено в [1];

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 [1];

f – коефіцієнт тертя при деформуючому прошиванні;

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

D_K – зовнішній діаметр деформуючого елемента (див. рис. 2.13), приймаємо конструктивно.

Допустиме напруження на згин для твёрдого сплаву визначаємо за формулою $[\sigma_{uz}] = \frac{\sigma_{uz.г.} \cdot K_{П.С.}}{K_{з.П.}}$ (2.2)

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

$$\sigma_{\text{из.г.}} = 4,62 \cdot D_K^{-0,36} \cdot t_k^{-0,45} \cdot \sigma_{\text{из.г.ст.}} \quad (2.3)$$

де $\sigma_{\text{из.г.ст.}}$ – межа міцності твердого сплаву на згин, який оговорено ГОСТ;

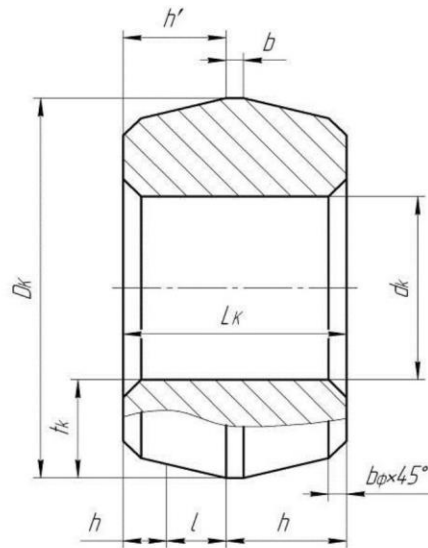


Рисунок 2.8 – Схема до розрахунку на міцність твердосплавного деформуючого елемента симетрично навантаженої форми

$$\sigma_{\text{из.г.}} = 4,62 \cdot 20,005^{-0,36} \cdot 4^{-0,45} \cdot 1470 \cdot 10^6$$

$$\sigma_{\text{из.г.}} = 1,237 \cdot 10^9 \text{ Па} = 1,237 \text{ ГПа}$$

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

$$K_{\text{н.с.}} = 1,1 \cdot d_k^{0,33} \cdot t_k^{-0,42} \cdot e^{\frac{310 \Delta^{1,1}}{d_k}} \cdot K_{\phi} \quad (2.4)$$

де d_k – діаметр отвору деформуючого елемента (див. рис. 2.8), 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.

$$K_{\text{н.с.}} = 1,1 \cdot 12^{0,33} \cdot 4^{-0,42} \cdot e^{\frac{-3100,027^{1,1}}{12}} \cdot 1$$

$$K_{\text{п.с.}} = 0,63; \text{ приймаємо } K_{\text{п.с.}} = 1$$

При визначенні $\sigma_{уз.в.}$ та $K_{н.с}$ у формулі 2.4 та 2.5 підставляємо товщину стінки елемента, обрану конструктивно та рівну 4 мм.

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

$$K_{з.п} = 1,8;$$

$$[\sigma_{уз.в.}] = \frac{1,237 \cdot 1}{1,8} = 0,687 \text{ ГПа}$$

За формулою 2.2 визначаємо товщину стінки деформуючого елемента

$$t_k = 0,329 \cdot \frac{(3000)^{0,735} \cdot 1,2^{0,71} \cdot 0,938^{1,6}}{0,11^{0,43} \cdot 58,16^{0,735} \cdot 20,005^{0,36}} = 5,26 \text{ мм.}$$

Порівнюємо отримане значення $t_k = 5,26$ мм та прийняте конструктивно $t_k = 4$ мм. Їх різниця не перевищує 1,6 мм, тому приймаємо первісне значення $t_k = 4$ 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.

$$R_k = \frac{D_k}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ мм};$$

$$r_k = \frac{d_k}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ мм};$$

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:

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

$$W = \frac{9 \cdot (10^4 - 6^4) \cdot (10^2 - 6^2) - 8 \cdot (10^3 - 6^3)^2}{12 \cdot (10^3 - 6^3) - 18 \cdot (10^2 - 6^2) \cdot 40} \cdot 3,14 = 0,915 \text{ мм}^3.$$

Визначимо висоту деформуючого елемента за формулою 2.6

$$L_K = 1,2 \cdot \left[\frac{1,6}{2} \cdot \sqrt{\frac{1,6^2}{4} + \frac{8 \cdot 0,54 \cdot 10 \cdot 0,915}{3,14 \cdot (10^2 - 6^2)}} \right] = 5 \text{ мм.}$$

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

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

де b – ширина циліндричної стрічки, $b = 0,8$ мм;

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

$b_{\phi ac}$ – ширина фаски, $b_{\phi ac} = 0,8$ мм;

c – неробоча ділянка робочого конусу, що дорівнює довжині зворотного конусу, $c = 2,5$ мм.

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

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

Мінімальна відстань h' (див. рис. 2.8) 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.

$$L'_{к.д} \geq L_{к.д}$$

$$h' = \frac{4,465 + 1,6}{2} = 3,05 \text{ мм.}$$

Приймаємо за конструктивним міркуванням: $h' = 4,75$ мм. Приведений розрахунок дає гарантію, що деформуючий елемент, який має знайдені значення геометричних розмірів, задовольняє вимоги міцності на згин та стиск.

2.7. Розрахунок на міцність різьбового з'єднання

У конструкції прошивки для фінішної обробки отворів у корпусі гідророзподільника передбачено два різьбових з'єднання: хвостовика з оправкою протяжки (хвостовик–оправка) та оправки з гайкою (оправка–гайка) (див. рис. 2.9)

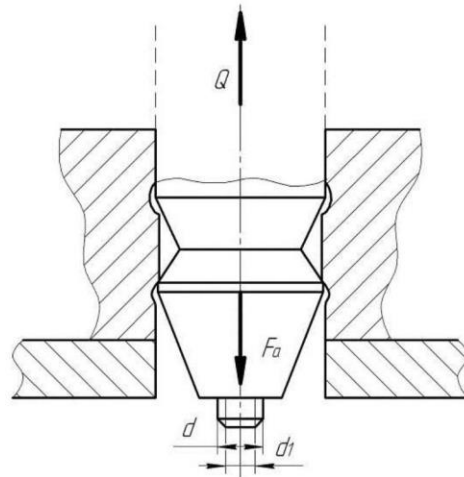


Рисунок 2.9 – Схема сил, що діють у різьбовому з'єднанні «оправка-гайка»

Розмір різьби у з'єднанні «оправка–гайка» М12х2–6g.

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.

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

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

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

Таким чином різьба М12 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 затягування;

$[n]$ – 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.

2.8 Розробка технологи виготовлення робочих елементів прошивки

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

Заготовки робочих елементів деформуючих прошивок отримують методом холодного пресування мілкоподрібнених сумішей у прес-формах з наступним високотемпературним спіканням по загальновідомій технології виготовлення виробів із металокерамічних твердих сплавів. У табл. 2.3. 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 прошивок з зовнішнім діаметром 34 мм та висотою 17 мм.

Таблиця 2.3

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

| Найменування розміру | Припуск на діаметр або висоту | Граничне відхилення розміру |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Зовнішній діаметр $D_K=20$ мм | 1,25 | $\pm 0,35$ |
| Внутрішній діаметр $d_K=12$ 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 робочого елемента при наявності дефектів у твердому сплаві. Тому обробку робочих

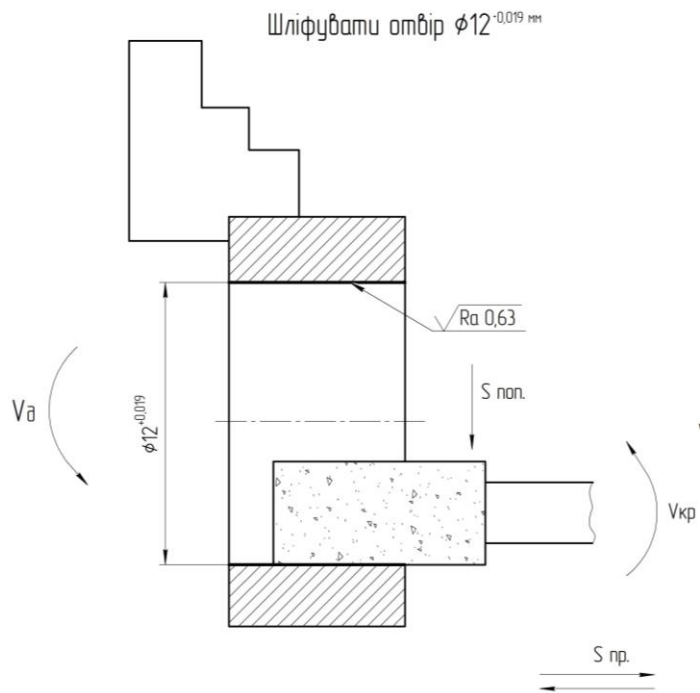
елементів деформуючих прошивок слід проводити в умовах, що виключають можливість появи таких дефектів.

Визначення режимів обробки заготовок та пристосувань на технологічні операції:

Режими обробки твердосплавних деформуючих елементів приведені на рис. 2.9 та 2.10. У якості пристосувань на 005 операції застосовується трьохкоординатний самоцентрувальний патрон; на 010 операції застосовується магнітна плита та сталеві планки; на інших операціях застосовуються оправки, центри та хомутики, а на полірувальній – ще і повстятий 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.

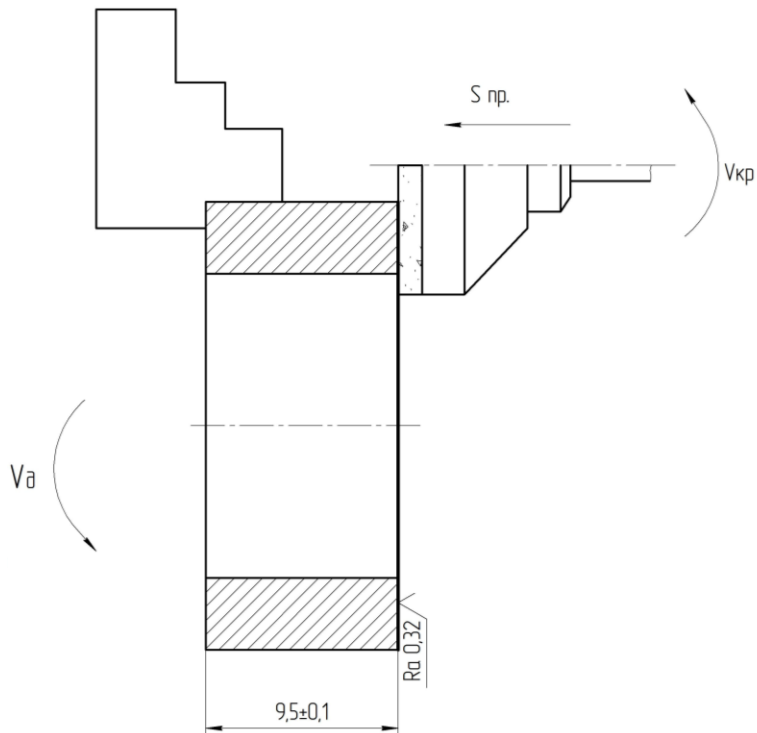
| Операція | Найменування операції | Назва та модель верстата | $V_{кр}$, м/с | V_d , м/хв | t , мм | $S_{пр}$, м/хв | $S_{пол}$, мм/подв. хід |
|----------|-----------------------|--------------------------|----------------|--------------|--------------|-----------------|--------------------------|
| 005 | Шліфувальна | ЗК225В | 10...20 | 10...30 | 0,025...0,05 | 1,0...1,5 | 0,05 |
| 010 | Шліфувальна | ЗК225В | 15...20 | 10...30 | 0,01...0,015 | 0,5...1,5 | – |
| 015 | Шліфувальна | ЗГ71 | 25...30 | – | 0,01...0,02 | 5...15 | – |
| 020 | Шліфувальна | ЗГ12 | 25...30 | 20...40 | 0,005...0,01 | 0,5...0,10 | 0,05...0,1 |

005 Шліфувальна



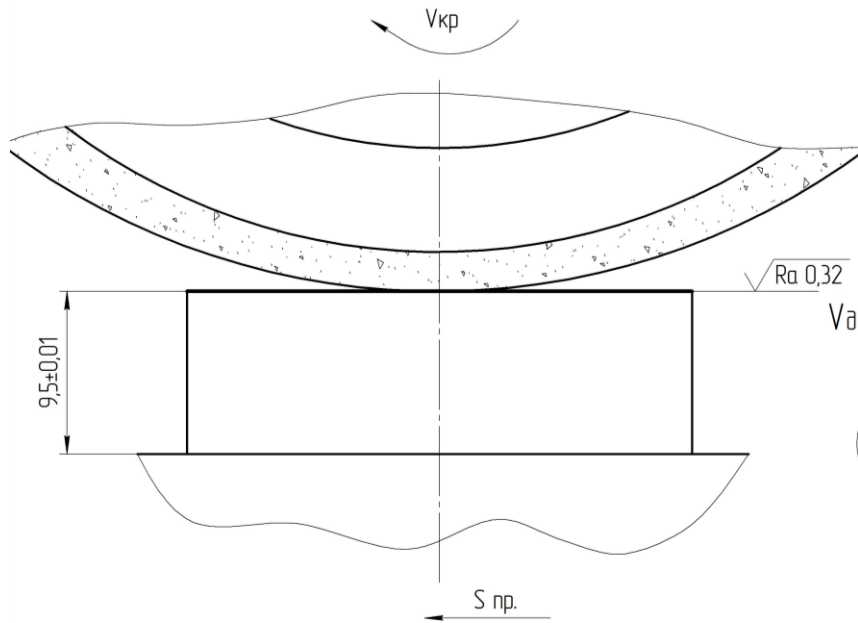
010 Шліфувальна

Шліфувати торець без переустановлення деталі,
втримав розмір $17 \pm 0,1$ мм



015 Шліфувальна

Шліфувати 2-й торець витримає розмір $9,5 \pm 0,1$ мм



020 Шліфувальна

Шліфування зовнішнього діаметру $20^{+0,005}$ мм

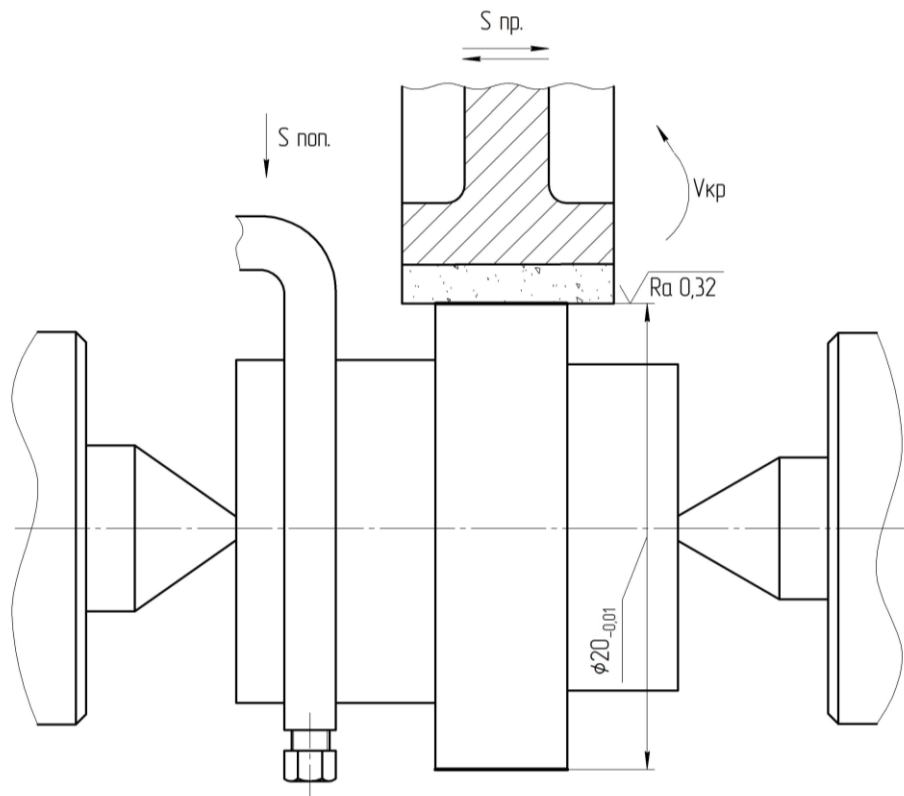
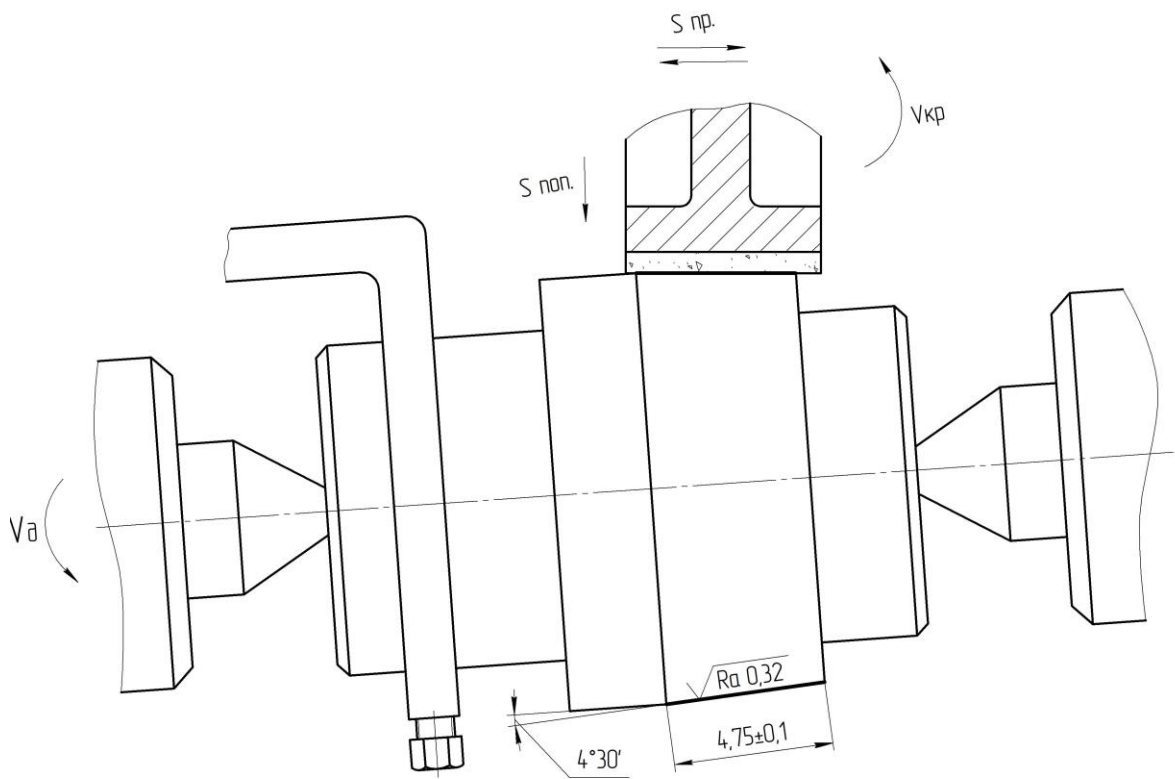


Рисунок 2.9 – Схема обробки твердосплавного робочого елемента прошивки

| Операція | Найменування операції | Назва та модель верстата | $V_{кр}$, м/с | V_a , м/хв | t , мм | $S_{пр}$, м/хв | $S_{поп}$, мм/подв. хід |
|----------|-----------------------|--------------------------|----------------|--------------|--------------|-----------------|--------------------------|
| 025 | Шліфувальна | 3А150 | 25...30 | 20...40 | 0,005...0,01 | 0,5...1,5 | 0,005 |
| 030 | Шліфувальна | 3А150 | 25...30 | 20...40 | 0,005...0,01 | 0,5...1,5 | 0,005 |
| 035 | Шліфувальна | 3А150 | 25...30 | 20...40 | 0,8x45 | - | 0,01 |
| 040 | Полірувальна | 312М | 40 | 300 | - | 0,5...1,5 | 0,005 |

025 Шліфувальна

Шліфувати робочий конус під кутом $4^\circ \pm 30'$, витримавши розмір $4,75_{-0,15}$ мм



040 Полірувальна

Полірувати циліндричну стрічку та конуса

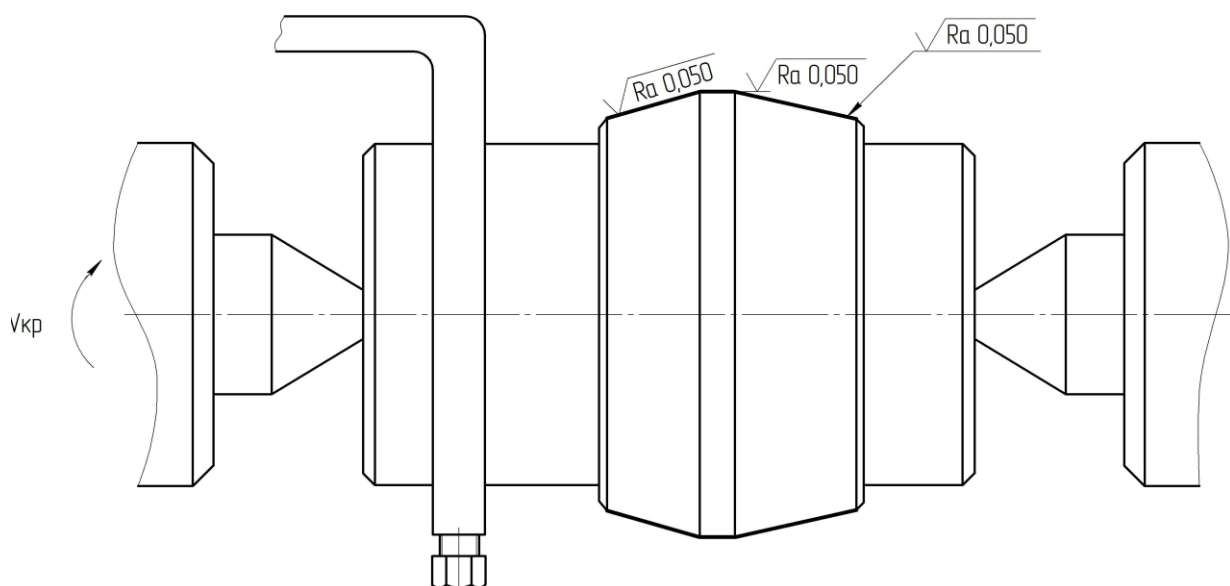


Рисунок 2.10 – Схема обробки твердосплавного робочого елемента
прошивки

3 Розробка конструкції пристосування для обробки отвору у корпусі гідророзподільника HD-00.002

3.1. Будова і принцип роботи пристосування для закріплення корпусу гідророзподільника при деформуючому прошиванні

При прошиванні внутрішнього отвору корпусу гідророзподільника необхідно встановити деталь таким чином, щоб забезпечити співвісність і центрування отвору зі шпинделем вертикально-протяжного верстата або гідравлічного преса, в якому закріплена деформуюча прошивка.

Цим вимогам відповідає запропоноване нами пристосування, за допомогою якого корпус встановлюється та закріплюється в робочій зоні верстата, забезпечуючи тим самим при виконанні даної операції взаємне розташування деталі та прошивного інструмента.

Варто звернути увагу на те, що роль головної бази деталі виконує торцева площина корпусу А (рис. 3.1), а два отвори Б, В $\varnothing 12,7$ та 33 мм відповідно є додатковими базами.

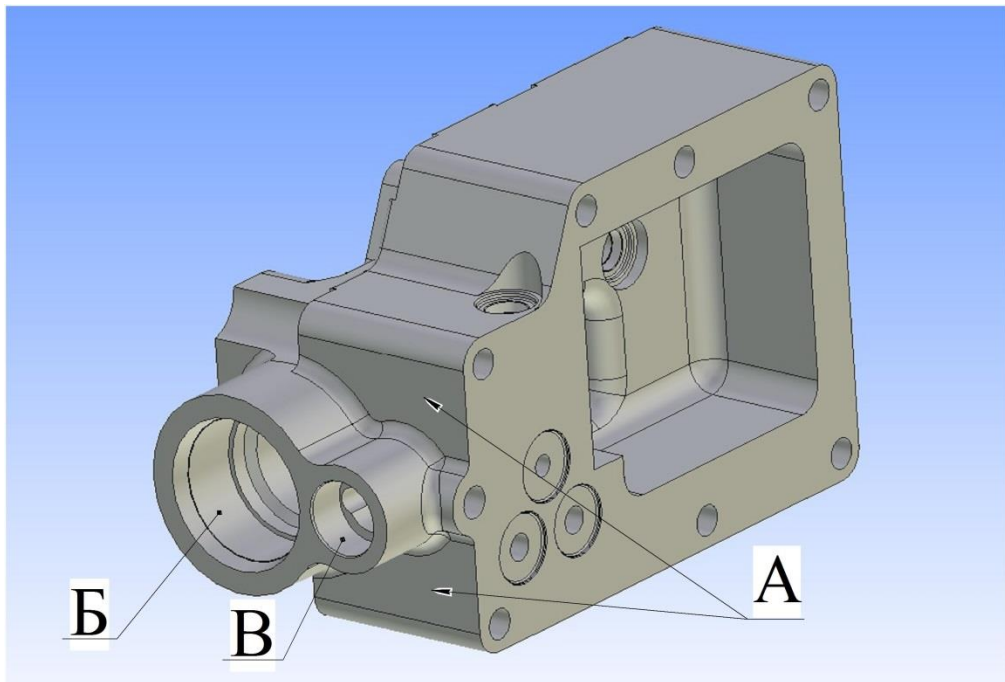
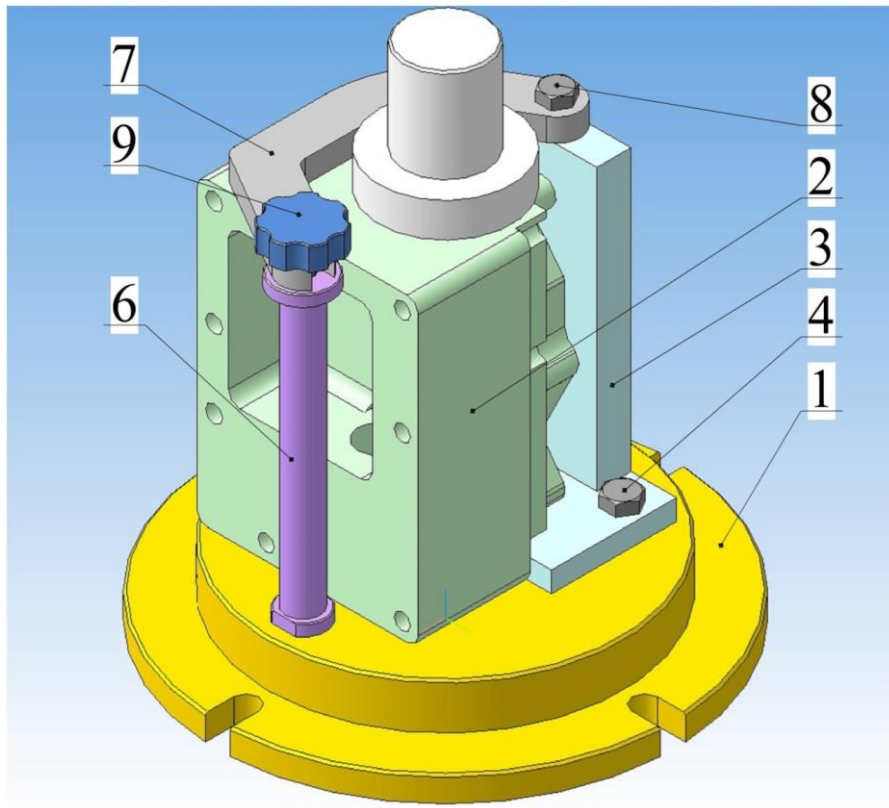


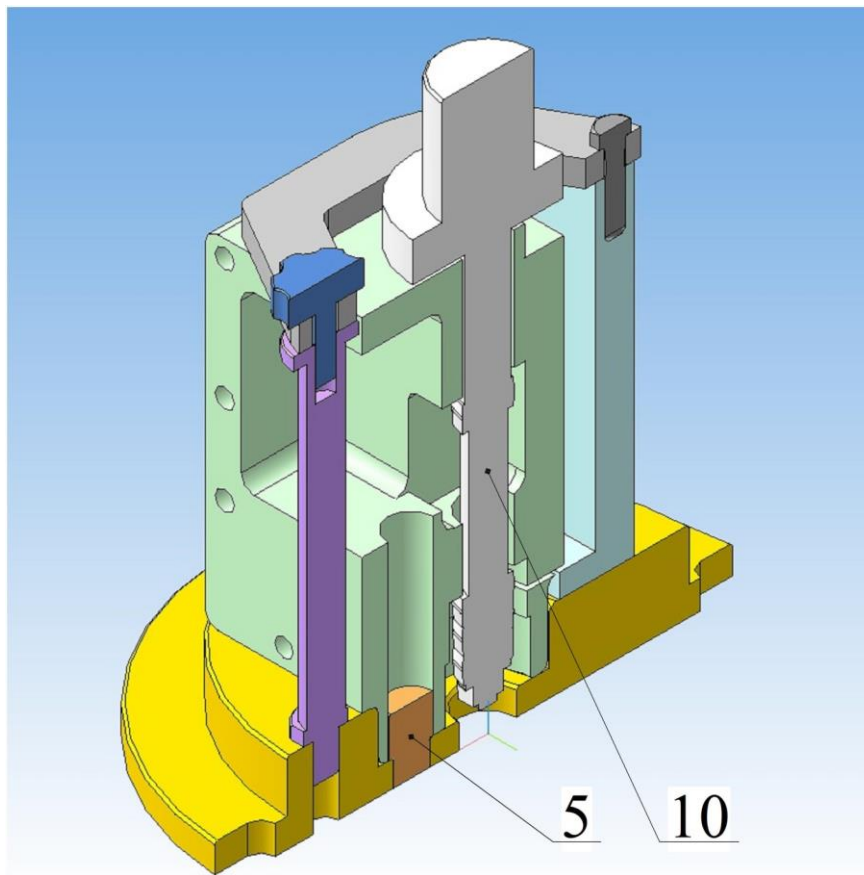
Рисунок 3.1 – Опорна поверхня (А) та базові отвори (Б, В)

Пристосування складається з установочного і затискного пристроїв. Перше служить для установки деталі та центрування оброблюваної поверхні відносно інструмента (прошивки), друге – для закріплення деталі. Установочне пристосування являє собою корпус, на якому є площина для базування оброблюваної деталі та установочний палець, розташований перпендикулярно опорній площини для центрування деталі з прошивкою.

Затискний пристрій - це механізм однократної дії, який складається із опори 1, стійок 3 та 6, рухомої затискної скоби-прихвату 7, болтів 4 та 8, пальця 5 та затискної гайки 9 (див. рис. 3.2 а,б).



a)



б)

Рисунок 3.2 – Затискний пристрій у зборі

Робота пристосування полягає в наступному. Оброблювана деталь 2 встановлюється торцевою базовою поверхнею на основу корпусу 1 пристосування (на його плоску частину), причому її центрування відносно інструменту відбувається за допомогою циліндричної вибірки у корпусі пристосування та пальця 5.

Далі, повернувши скобу 7 навколо вісі болта 8, закріплюємо деталь одночасно по її верхній поверхні. Це досягається завдяки закручуванню барашкового гвинта 9 у різьбовий отвір на опорі 6. Характерна форма скоби не заважає проході деформуючої прошивки 10 скрізь оброблюваний отвір деталі.

При розкріпленні деталі після механічної обробки гайка 9 відкручується, тим самим звільняючи скобу, яка потім відводиться у бік. Деталь виймається із пристосування.

Загальні висновки:

1. Розроблені нова конструкція деформуючої збірної прошивки для обробки переривчастих отворів у корпусі гідророзподільника та затискний пристрій, якій одночасно забезпечує базування деталі на пресі.

2. Нова конструкція збірної прошивки забезпечує:

- точність форми обробленого отвору до 0,05 мм;
- шорсткість поверхні отвору – $Ra=0,28$ мкм;
- зміцнення поверхневого шару до 28%, що підвищує зносостійкість обробленої поверхні отвору гідро розподільника;
- постійний контакт робочих елементів прошивки із оброблюваною переривчастою циліндричною поверхнею.

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. 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
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.
6. 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
7. Немировский Я.Б. Особенности расчета усадки отверстий при деформирующем протягивании деталей из чугуна [Текст] / Я.Б. Немировский,

А.В. Чернявський, П.Н. Еремін // Високі технології в машинобудуванні: междун. науч.- техн. сб. – Харків: НТУ України «ХПІ», 2014. – Вип. 1(24). – С.109-121

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

9. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник/ Упор. В.Я. Чабанний. - Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2007. - 348 с.

10. Єрьомін П.М. Дослідження взаємодії деформувального елемента протяжки із оброблюваною поверхнею деталей із графітовмісних чавунів [Текст] / П.М. Єрьомін, О.В. Чернявський, С.Ф. Студенець // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин», вип. 44, 2014 – С.115-121.

11. 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.

12. 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.

| 1 | 2 | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------|---|--|-------------------------------|--------------------------------|--|--|--|------------------------------------|------------------------|--|--|--|----------------|----------------------------|------------|--|--|--|--|--------------|
| Поз. | Познака | Найменування | Кіл. Посилання Матеріал | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Пристосування встановочне | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | КРБ.ПМ.25.13.70.10.200 | Складальне креслення | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Деталі | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | КРБ.ПМ.25.13.70.10.201 | Плита | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | КРБ.ПМ.25.13.70.10.203 | Стійка | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | КРБ.ПМ.25.13.70.10.205 | Палець установочний | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | КРБ.ПМ.25.13.70.10.206 | Стійка | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | КРБ.ПМ.25.13.70.10.207 | Скоба затискна | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | δ/к | Гайка | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Стандартні вироби | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | Болт М8х25 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ГОСТ 15589-70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | Болт М8х32 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ГОСТ 15590-70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>Відповідальна організація Кафедра ММР</td> <td>Технічне узгодження Андрію ГРЕЧКА</td> <td>Розробник документа Артем НЕЛЕПА</td> <td>Документ затверджено Павло ЄРЬОМІН</td> <td>Масштаб</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Власник документа Центральноукраїнський національний технічний університет</td> <td>Вид документа Специфікація</td> <td colspan="2">Статус документа Навчальний</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Назва Пристосування встановочне</td> <td colspan="2">КРБ.ПМ.25.13.70.10.200</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Інд. змін А</td> <td>Дата видання 2025-05-25</td> <td>Мова ua</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td>Аркуш 1/1</td> </tr> </table> | | | | Відповідальна організація Кафедра ММР | Технічне узгодження Андрію ГРЕЧКА | Розробник документа Артем НЕЛЕПА | Документ затверджено Павло ЄРЬОМІН | Масштаб | Власник документа Центральноукраїнський національний технічний університет | | Вид документа Специфікація | Статус документа Навчальний | | | | Назва Пристосування встановочне | КРБ.ПМ.25.13.70.10.200 | | | | Інд. змін А | Дата видання 2025-05-25 | Мова ua | | | | | Аркуш 1/1 |
| Відповідальна організація Кафедра ММР | Технічне узгодження Андрію ГРЕЧКА | Розробник документа Артем НЕЛЕПА | Документ затверджено Павло ЄРЬОМІН | Масштаб | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Власник документа Центральноукраїнський національний технічний університет | | Вид документа Специфікація | Статус документа Навчальний | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Назва Пристосування встановочне | КРБ.ПМ.25.13.70.10.200 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Інд. змін А | Дата видання 2025-05-25 | Мова ua | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Аркуш 1/1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |