

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри
машинобудування, мехатроніки і
робототехніки
канд. техн. наук., доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА
« _____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

Розробка технологічного оснащення для виготовлення деталі рейка-поршень кульково- гвинтового гідروпідсилювача

Виконав здобувач вищої освіти 4-го курсу
групи ПМ-22мб-3

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Костянтин ГОЛОБОРОДЬКО

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Кирил ЩЕРБИНА

Рецензент:

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніка і робототехніка
Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма: Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк

Завідувач кафедри
машинобудування, мехатроніки і
робототехніки
канд. техн. наук., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
Голобородько Костянтин Олегович

Тема роботи:

Розробка технологічного оснащення для виготовлення деталі рейка-поршень кульково-гвинтового гідропідсилювача

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Кирил ЩЕРБИНА

Затверджено наказом ЦНТУ від _____ 2025 року № _____

Строк подання роботи до захисту

20 червня 2025 р.

Мета та завдання кваліфікації роботи:

Мета: розробка технологічного оснащення для виготовлення деталі рейка-поршень.

Завдання: обґрунтувати актуальність теми та напрямок розрахунків, провести розрахунок технологічного оснащення та вимірювального інструменту.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи		
2	Виконання загальної частини		
3	Виконання конструкторської частини		
4	Розробка креслеників		
5	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи		
6	Перевірка роботи на академічний плагіат		
7	Рецензування роботи		
8	Захист кваліфікаційної роботи		

Дата видачі завдання
10 березня 2025 р.

Здобувач вищої освіти _____ Костянтин ГОЛОБОРОДЬКО

Керівник роботи _____ Кирил ЩЕРБИНА

АНОТАЦІЯ

Голобородько К.О. Розробка технологічного оснащення для виготовлення деталі рейка-поршень кульково-гвинтового гідروідсилювача: кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. К.К. Щербина; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. 43 с.

Креслеників – разом 3 аркушів формату А1

Метою роботи є розробка технологічного оснащення для виготовлення деталі рейка-поршень.

Актуальність роботи полягає в підвищенні продуктивності та зменшення собівартості виготовлення деталі за рахунок використання технологічного оснащення з автоматичним затиском деталей.

В роботі виконано опис вузла та деталі та їх службового призначення, аналіз точності та технологічності, виконано розрахунок затискного у відповідності до діючих сил різання в процесі обробки та контрольного пристроїв.

затискний пристрій, контрольний пристрій, рейка-поршень, кульково-гвинтовий гідроідсилювач

ANNOTATION

Goloborodko K.O. Development of technological equipment for the manufacture of a rail-piston part of a ball screw hydraulic amplifier: qualification work for the education level “Bachelor”: specialty 131 Applied Mechanics / Scientific supervisor K.K. Shcherbyna; Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi: CNTU, 2025. 43 с.

Drawings - a total of 3 sheets of A1 format

The aim of the work is to develop technological equipment for the manufacture of a rail-piston part.

The relevance of the work is to increase productivity and reduce the cost of manufacturing the part by using technological equipment with automatic clamping of parts.

The work describes the assembly and the part and their service purpose, analyzes the accuracy and manufacturability, calculates the clamping device in accordance with the acting cutting forces during machining and the control device.

clamping device, control device, piston rail, ball screw hydraulic amplifier

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

**Розробка технологічного оснащення для
виготовлення деталі рейка-поршень кульково-
гвинтового гідروпідсилювача**

КРБ.ПМ.25.23.64.00.00

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

_____ Костянтин ГОЛОБОРОДЬКО

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Кирил ЩЕРБИНА

Кропивницький –2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. Загальна частина	11
1.1. Характеристика вузла та деталі, обраної для проектування технологічного процесу.....	11
1.2. Аналіз точності та технологічності деталі.....	21
2. Конструкторська частина.....	21
2.1. Розрахунок та розробка конструкції затискного пристрою.....	21
2.1.1. Опис будови та роботи пристрою.....	21
2.1.2. Розрахунок сили затиску деталі.....	24
2.1.3. Вибір типу силового приводу, розрахунок параметрів силового приводу.....	26
2.1.4. Розрахунок на міцність слабких ланок пристрою.....	27
2.1.5. Розрахунок пристрою на міцність.....	28
2.1.6. Розрахунок пристрою на точність.....	29
2.2. Розрахунок та розробка конструкції контрольно-вимірювального пристрою.....	30
2.2.1. Опис конструкції та роботи пристрою.....	30
2.2.2. Визначення похибок вимірювання і перевірка умови працездатності виробу.....	32
2.2.3. Розробка креслення загального виду пристрою.....	32
2.3. Розрахунок та розробка конструкції спеціального ріжучого інструменту.....	33
2.3.1. Опис конструкції спеціального ріжучого інструменту.....	33
2.3.2. Розрахунок пальцевої модульної фрези.....	33
2.3.3. Розробка креслення спеціального ріжучого інструменту.....	37
Висновки.....	38
Перелік використаних джерел	40

ВСТУП

Основною стратегічною метою розвитку машинобудівного комплексу держави є задоволення внутрішнього попиту на конкурентоспроможну вітчизняну продукцію машинобудування та розширення її присутності на глобальних ринках. Досягнення цієї мети вимагає системної трансформації галузі в ефективну, високотехнологічну і наукоємну сферу промисловості, здатну оперативню адаптуватися до вимог сучасної світової економіки, активно впроваджувати інновації та інтегруватися у міжнародну систему розподілу праці.

Реалізація зазначеної стратегії передбачає впровадження комплексу техніко-організаційних заходів, серед яких пріоритетними є: технічне переоснащення і модернізація існуючих виробничих потужностей із використанням інноваційних підходів; інтеграція прогресивних технологій, зокрема цифрового моделювання, автоматизованих систем керування та гнучких виробничих модулів; стимулювання внутрішнього попиту на продукцію машинобудування шляхом розвитку суміжних галузей; формування сприятливого кадрового середовища через залучення висококваліфікованих інженерів і технічних спеціалістів.

Застосування зазначених заходів сприятиме підвищенню обсягів виробництва, розширенню номенклатури виробів, зміцненню експортного потенціалу та загальному підвищенню конкурентоспроможності національного машинобудівного сектору.

У межах кваліфікаційної роботи передбачається розробка та впровадження конструктивно обґрунтованих затискних пристроїв для обробки деталі типу «рейка-поршень» із застосуванням верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК), що дозволить суттєво підвищити точність позиціонування, знизити час допоміжних операцій і, як наслідок, забезпечити зростання продуктивності технологічного процесу.

1. Загальна частина

1.1. Характеристика вузла та деталі, обраної для проектування технологічного процесу

Кульково-гвинтовий гідропідсилювач ШВГУ 700 (рис. 1.1) є механогідравлічним пристроєм, який виконує функцію передачі та підсилення зусилля, що прикладається водієм до рульового колеса транспортного засобу. Основне призначення цього вузла — забезпечення ефективного та контрольованого повороту керованих коліс шляхом трансформації зусилля керування в механічний рух за допомогою кульково-гвинтової передачі в поєднанні з гідравлічною системою підсилення.

Принцип дії пристрою ґрунтується на взаємодії гвинтової пари з циркулюючими тілами кочення (кульками), що дозволяє забезпечити високий коефіцієнт корисної дії, знизити втрати на тертя та забезпечити плавність і точність керування. Гідравлічне підсилення зменшує фізичне навантаження на водія та покращує маневровість транспортного засобу, особливо за умов експлуатації на низьких швидкостях або при великих радіусах повороту.

Кульково-гвинтові гідропідсилювачі (ШВГУ) типу 700 розроблені для застосування в системах рульового управління транспортних засобів, що експлуатуються зі швидкостями до 60 км/год. Їх конструктивні особливості забезпечують високу надійність, довговічність та стійкість до перевантажень, що робить їх придатними для використання в умовах підвищених механічних і гідравлічних навантажень.



Рис. 1.1. Кульково-гвинтовий гідропідсилювач ШВГУ 700

Керування здійснюється за рахунок механічних передач із гідропідсиленням.

Для пояснення устрою і принципу дії розглянемо гідрокінематичну схему (рис. 1.2).

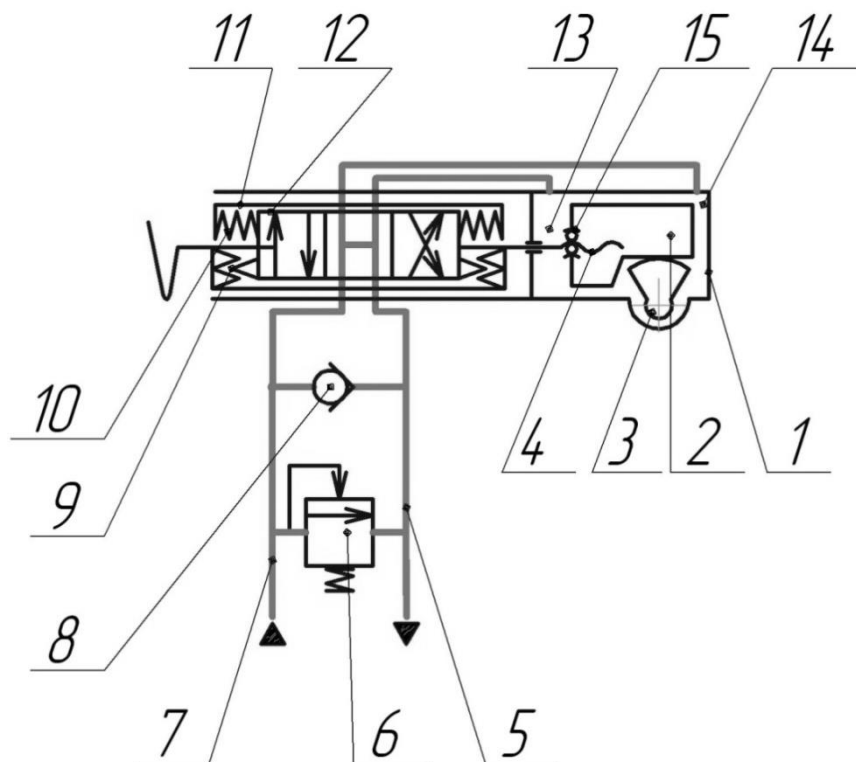


Рис. 1.2. Гідрокінематична схема ШВГУ:

1 – картер; 2 – рейка-поршень; 3 – вал-сектор; 4 – кульково-гвинтова передача; 5 – магістраль зливу; 6 – запобіжний клапан; 7 – магістраль напору; 8 – зворотній клапан; 9 – муфта; 10 – пружний елемент; 11 – зовнішній золотник; 12 – внутрішній золотник; 13, 14 – опозитні порожнини; 15 – гайка кульково-гвинтової передачі.

Кульково-гвинтовий гідропідсилювач керування ШВГУ 700 є складним комбінованим механогідравлічним пристроєм подвійної дії, що реалізує одночасне використання механічних і гідравлічних передач для формування та підсилення керувального зусилля. Його конструкція передбачає компактне компонування основних функціональних елементів в одному корпусі (картері) 1, що забезпечує зменшення габаритів та підвищення надійності вузла.

До складу ШВГУ входять:

- * гідравлічний розподільник, утворений зовнішнім золотником 11 та внутрішнім золотником 12, а також пружними елементами 10 і муфтою 9, яка обмежує кут повороту золотників;

- * напірна магістраль 5 і зливна магістраль 7;

* запобіжний клапан 6, що обмежує тиск у напірній магістралі, та зворотний клапан 8, який забезпечує роботу в умовах від'ємного тиску;

* рейкова передача, утворена рейкою-поршнем 2 та валом-сектором 3;

* кульково-гвинтова передача, сформована гвинтом 4 та гвинтовим отвором у рейці-поршні 2;

* опозитні робочі порожнини 13 і 14, які формуються поділкою картера 1 рейкою-поршнем 2 на дві герметично ізольовані зони.

Функціонування ШВГУ реалізується за принципом подвійної дії. В штатному режимі керування здійснюється переважно за рахунок гідравлічного тиску, що переміщує рейку-поршень 2 в межах картера. Внаслідок прямолінійного переміщення рейки відбувається обертання вала-сектора 3, з яким вона з'єднана зубчастою рейковою передачею. Механічні елементи, зокрема кульково-гвинтова передача, виконують слідкувальну функцію, забезпечуючи точність і узгодженість руху.

У випадку відмови гідросистеми (нештатний режим), передача зусилля повністю здійснюється механічним шляхом — через гвинт 4 та муфту 9 обертання передається на рейку-поршень 2, яка взаємодіє з валом-сектором 3. При цьому виникнення вакууму в робочій порожнині, що збільшується в об'ємі, ініціює відкриття зворотного клапана 8, що забезпечує циркуляцію рідини між порожнинами 13 і 14, дозволяючи продовжувати роботу вузла.

Розподіл потоку робочої рідини керується положенням внутрішнього золотника 12 відносно зовнішнього 11. При повороті внутрішнього золотника на кут, обмежений муфтою 9, робоча рідина із напірної магістралі 5 подається в одну з порожнин 13 або 14. Тиск викликає переміщення рейки-поршня 2, що, в свою чергу, забезпечує обертання вала-сектора 3. Паралельно, вивільнення рідини з опозитної порожнини відбувається через зливну магістраль 7.

Зовнішній золотник 11, жорстко пов'язаний із гвинтом 4, обертається синхронно з ним, що забезпечує злагоджену роботу кульково-гвинтової передачі. Переміщення рейки-поршня супроводжується обертанням гвинта, що забезпечує точність відслідковування.

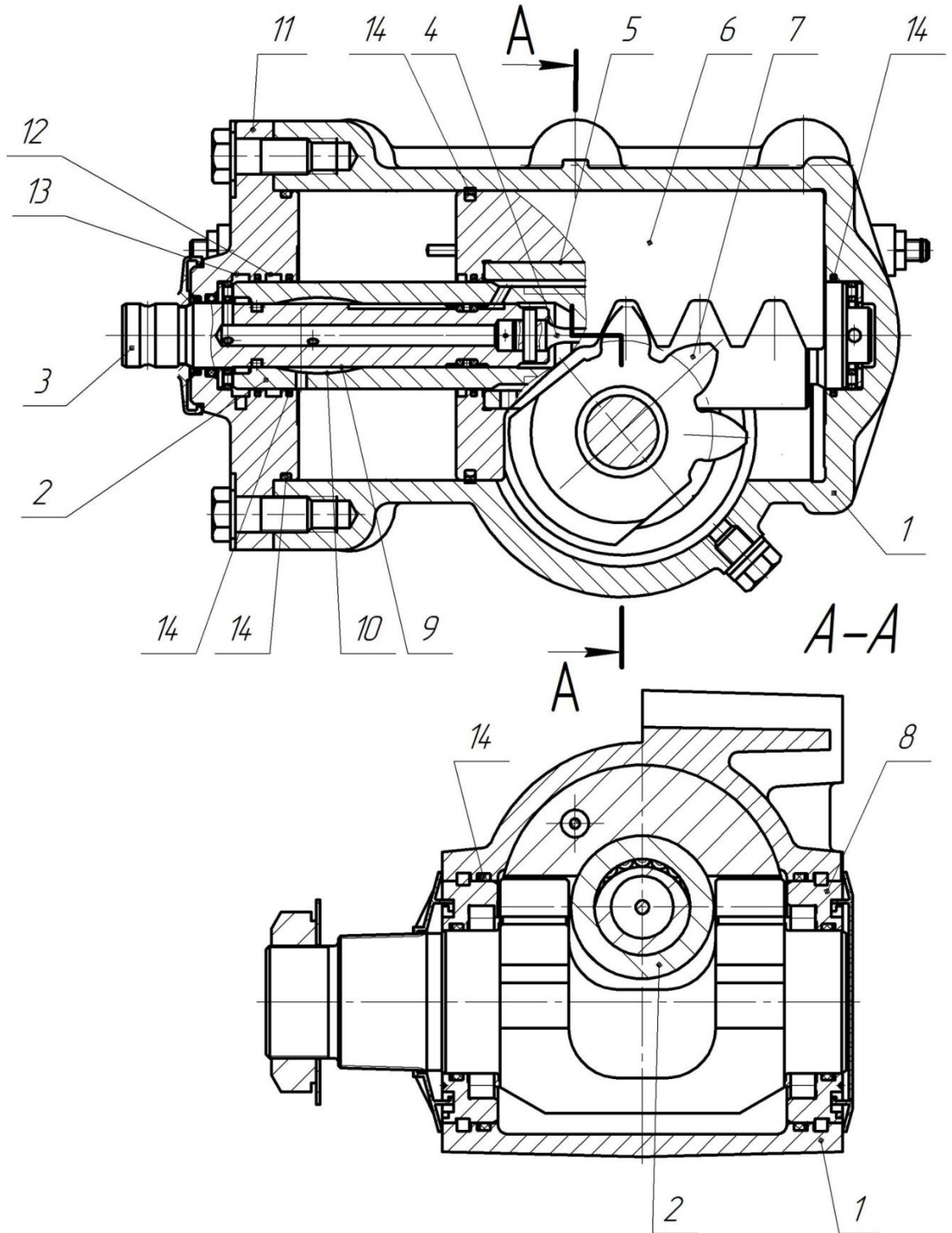
Управління ШВГУ характеризується часовою залежністю між рухом вхідної ланки (внутрішнього золотника 12) та реакцією вихідної ланки (вала-сектора 3). Ця затримка визначає точність функціонування системи. Швидкість повернення золотника в нейтральне положення визначається жорсткістю пружного елемента 10 та величиною кута вільного ходу, дозволеного муфтою 9. Збільшення цих параметрів зменшує динамічну точність, оскільки відбувається «запізнення» реакції виконавчого елемента.

Підвищення точності системи можливе шляхом зменшення кута вільного ходу муфти 9 та підвищення жорсткості пружних елементів 10, що дозволяє оперативніше повертати золотники в нейтральне положення після завершення керуючої дії.

На рис. 1.3 зображено конструктивне виконання вузла. В картері 1, який має Т-подібну форму, утворену перетином двох циліндрів, розміщено гвинт 2 у складі з ротором 3 і поршнем 4, які разом з гайкою 5 утворюють кульково-гвинтову передачу. Рейка-поршень 6, з'єднана із гайкою, взаємодіє з валом-сектором 7, формуючи рейкову передачу. Останній змонтований на роликових підшипниках 8, що забезпечують плавність обертання. Ротор 3 виконує функцію вхідної ланки системи керування. На його зовнішній циліндричній поверхні сформовані поздовжні шліци 9, які зчіплюються з аналогічними шліцами 10 на внутрішній поверхні гвинта 2, утворюючи жорстке кінематичне з'єднання.

Узагальнюючи, ШВГУ 700 являє собою високоточний, енергоефективний і надійний механогідравлічний пристрій з можливістю функціонування в умовах відмови однієї з систем (гідравлічної або механічної), що робить його придатним

для експлуатації в умовах підвищених навантажень та динамічних змін керуючих



впливів.

Рис. 1.3. Конструктивне виконання ШВГУ

Таким чином, внутрішня циліндрична поверхня гвинта 2 виконує функцію зовнішнього золотника, тоді як зовнішня циліндрична поверхня ротора 3 одночасно є внутрішнім золотником гідророзподільника. Така конструктивна

інтеграція забезпечує компактність, зниження масогабаритних характеристик та високу функціональну точність системи керування.

До корпусу (картера) 1 приєднується окремий корпус гідророзподільника 11, у якому сформовані канали подачі робочої рідини: напірні 12, зливні 13, а також внутрішні порожнини для розміщення запобіжного та зворотного клапанів. Для забезпечення герметичності в системі передбачені ущільнюючі елементи 14, які забезпечують як зовнішню, так і внутрішню герметизацію, що є критично важливим для підтримання стабільного гідравлічного тиску.

Конструктивно внутрішній діаметр рейки-поршня реалізується по зовнішньому діаметру гайки, причому сама рейка-поршень виконана у вигляді порожнистого циліндра. На одній із зовнішніх поверхонь цієї деталі сформовано два ряди зубців, які забезпечують зачеплення з відповідними зубцями валу-сектора, утворюючи рейкову передачу. Гайка жорстко з'єднана з рейкою-поршнем за допомогою клинового з'єднання, що гарантує відсутність люфтів та високу надійність при передаванні зусилля.

Усередині гайки розташовується гвинт, жорстко з'єднаний із рульовим валом через торсіон. Сам рульовий вал функціонально поєднаний з ротором 3, утворюючи єдину кінематичну ланку, що виконує вхідну функцію у системі ШВГУ. Гвинт одночасно виконує функцію розподільника робочої рідини в системі.

Для забезпечення довговічної та зворотної роботи кульково-гвинтової передачі між гвинтовими канавками гвинта і гайки встановлено рециркуляційні елементи — сталеві кульки, які циркулюють у вигляді двох замкнених потоків. Вхід і вихід кожної гвинтової канавки завершуються направляючими вкладишами, наповненими тими ж кульками. При обертанні гвинта кульки перекочуються по гвинтовій канавці, заходять у вхідний вкладиш, проходять по ньому та повертаються назад через вихідний вкладиш у зону контакту гвинта і гайки. Така система замкненого рециркуляційного руху забезпечує високу плавність, мінімальні втрати на тертя та тривалий експлуатаційний ресурс.

Обертання гвинта призводить до поступального переміщення гайки з рейкою-поршнем уздовж осі гвинта, що в свою чергу викликає обертальний рух валу-сектора через рейкову передачу. Обертання вала-сектора передається на сошку, що здійснює безпосередній поворот керованих коліс транспортного засобу.

Деталь «рейка-поршень» УЯИШ 716652.70 є ключовим конструктивним елементом у складі кульково-гвинтового гідропідсилювача типу ШВГУ 700. Вона реалізує функцію формування рейкової передачі, завдяки якій відбувається перетворення поступального руху в обертальний. За своїм типом рейка-поршень належить до складних корпусних деталей, що вимагає високої точності виготовлення, дотримання допусків на взаємозамінність та забезпечення жорстких вимог до геометричних параметрів поверхонь, що сполучаються.

Ескізи деталі рейка-поршень представлений на рис. 1.4.

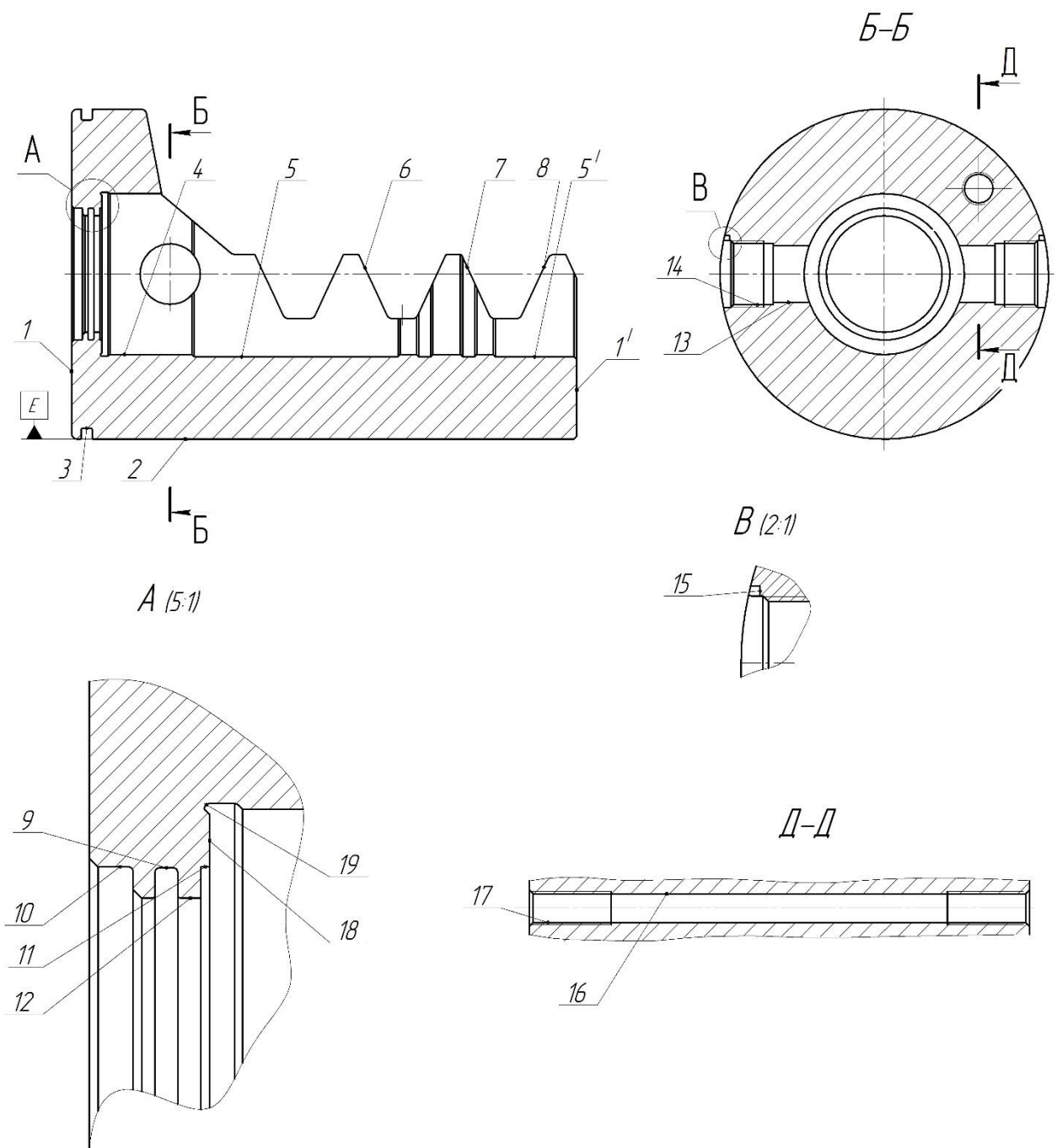


Рис. 1.4. Ескіз деталі рейка-поршень

1.2. Аналіз точності та технологічності деталі

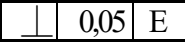
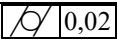
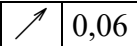
Для здійснення поелементного аналізу точності поверхонь деталі типу «рейка-поршень» виконується побудова ескізу, зображеного на рис. 1.4, із чітким позначенням поверхонь, що підлягають механічній обробці. Виявлені дані за результатами аналізу заносяться до табличної форми (таблиця 1.1), що дозволяє систематизувати інформацію щодо геометричних параметрів та забезпечити подальший технологічний аналіз.


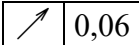

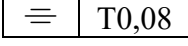

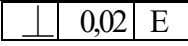
Результати аналізу точності засвідчили, що геометричні розміри більшості поверхонь задані у повному обсязі, що є достатнім для забезпечення їх обробки відповідно до вимог конструктивної та технологічної документації. Застосований метод нанесення розмірів класифікується як комбінований, оскільки поєднує принципи координатного та базового розмірного аналізу.

Більшість номінальних розмірів відповідає значенням нормованого ряду чисел згідно з вимогами ЄСКД і СТ СЭВ, що забезпечує уніфікацію та взаємозамінність елементів. Водночас встановлено, що не всі допуски на відхилення розмірів відповідають прийнятим квалітетам згідно з системою допусків та посадок, що може потребувати коригування у частині уточнення полів допусків для забезпечення відповідного рівня точності обробки та подальшої функціональності деталі у складі кульково-гвинтового гідропідсилювача.

Таблиця 1.1

Параметри точності деталі

Позначення поверхні	Назва поверхні	Розмір з відхиленнями, заданими від даної поверхні	Квалітет точності	Точність відносних поворотів, відстаней, розміщення поверхонь	Точність форми	Шорсткість поверхні
1	2	3	4	5	6	7
1, 1 ^I	Торцева	184,5 _{-0,25}	-			2,5
2	Зовнішня циліндрична	φ120 _{-0,036} _{-0,071}	f7			0,8
3	Канавка	φ111 _{-0,087}	h9			1,6

		4 ^{+0,12}	-			
4	Внутрішня циліндрична	φ58,5 ^{+0,046}	H8	 φ0,03 E		1,6
5, 5 ^I	Внутрішня циліндрична	φ59 ^{+0,074}	H9			6,3
6, 7, 8	Зубчаста поверхня	25,801 25,341 34,375 33,958	8-8-9-D			0,8
9	Канавка	φ47,8 ^{+0,062} 2,1 ^{+0,1}	H9	 0,06		1,6
10	Внутрішня циліндрична	Ø48	H14			6,3
11	Канавка	Ø48 0,5	H14			6,3
12	Внутрішня циліндрична	φ42,3 ^{+0,062}	H9	 φ0,06 E		2,5
13	Отвір	φ22 ^{+0,052}	H9	 T0,08		2,5
14	Різьбовий отвір	M24x1,5	6H	 φ0,1		3,2
15	Паз	14; 3,5; R5	IT14/2			6,3
16	Отвір	φ10,43	H14			6,3
17	Різьбовий отвір	M12x1,5	6H			3,2
18	Торець внутрішньої поверхні	11 _{-0,1}	H14	 0,02 E		1,6
19	Канавка	2 3 0,5	IT14/2			6,3

Найбільш точними поверхнями деталі рейка-поршень є:

- торцева поверхня 1 184,5_{-0,25} з шорсткістю Ra2,5 та допуском перпендикулярності 0,05;
- зовнішня циліндрична поверхня 2 Ø120^{-0,036}_{-0,071} з шорсткістю Ra0,8, та допуском циліндричності 0,02;
- канавка 3 Ø111_{-0,087}, 4^{+0,12} з шорсткістю Ra1,6 та допуском биття 0,06;
- внутрішня циліндрична поверхня 4 Ø58,5^{+0,046} з шорсткістю Ra1,6, та допуском співвісності 0,03;
- зубчаста поверхня 6-8 з шорсткістю Ra0,8;

- канавка 9 $\varnothing 47,8^{+0,062}$, $2,1^{+0,1}$ з шорсткістю Ra1,6 та допуском биття 0,06;
- внутрішня циліндрична поверхня 12 $\varnothing 42,3^{+0,062}$ з шорсткістю Ra2,5, та допуском співвісності 0,03
- отвір 13 $\varnothing 22^{+0,052}$ з шорсткістю Ra2,5 та допуском симетричності 0,08;
- різьбовий отвір 14 M24x1,5 з шорсткістю Ra3,2 та допуском співвісності 0,1;
- торцева внутрішня поверхня 18 $11_{-0,1}$ з шорсткістю Ra1,6 та допуском перпендикулярності 0,02.

Доступ різального та вимірювального інструментів до оброблюваних та контрольованих поверхонь вільний.

Аналіз точності деталі проводимо за різними показниками:

- з точки зору форми деталь рейка-поршень УЯИШ 716652.70 нетехнологічна, оскільки, має внутрішні циліндричні переривчасті поверхні та зубчасту поверхню;
- з точки зору коефіцієнта використання матеріалу для деталі:

$$K_{BM} = \frac{M}{M_M},$$

де: M - маса деталі;

M_M - маса заготовки.

$$K_{BM} = \frac{6,94}{19,764} = 0,35$$

Так, як $K_{BM} < 0,5$, деталь є нетехнологічною.

З позиції технологічності виготовлення заготовки, деталь «рейка-поршень» може вважатися технологічною, оскільки її геометрична конфігурація дозволяє використовувати поковку простої циліндричної форми, що забезпечує мінімальні витрати матеріалу та спрощує процес попередньої обробки.

Щодо базування в процесі механічної обробки, на першому та другому переходах деталь встановлюється по центрувальних отворах, що забезпечує високу точність співвісності. У подальших операціях базування здійснюється по торцевій поверхні та зовнішній циліндричній частині, що дозволяє забезпечити технологічну спадкоємність баз і відповідність допусковим вимогам.

З погляду можливості обробки на металорізальних верстатах, деталь також є технологічною. Основна частина операцій може виконуватись на універсальних верстатах токарної та свердлильної груп, що свідчить про достатню простоту реалізації технологічного маршруту на існуючому устаткуванні.

Водночас, з точки зору застосування затискних і контрольних-вимірювальних пристроїв, деталь виявляє ознаки нетехнологічності. Це пояснюється необхідністю використання спеціалізованих пристосувань для надійного закріплення деталі під час обробки та для контролю геометричних параметрів, зокрема внутрішніх отворів та зубчастої поверхні, які мають підвищені вимоги до точності.

Таким чином, за результатами комплексного аналізу встановлено, що хоча деталь «рейка-поршень» виявляє ознаки технологічності за більшістю критеріїв, наявність конструктивних особливостей, що вимагають спеціальних пристроїв для базування та контролю, дозволяє класифікувати її як **умовно нетехнологічну** в загальному розумінні сучасних вимог до технологічності конструкцій.

2. Конструкторська частина

2.1. Розрахунок та розробка конструкції затискного пристрою

2.1.1. Опис будови та роботи пристрою

Пневматичний затискний пристрій призначений для надійного закріплення деталі типу «рейка-поршень» під час виконання операції 070 плоскошліфування на високоточному шліфувальному верстаті моделі 3E711. Застосування такого типу пристрою обґрунтоване вимогами до жорсткого позиціювання деталі, що дозволяє гарантувати стабільність обробки за параметрами форми та шорсткості, а також виключити мікрозсуви заготовки в зоні взаємодії з шліфувальним інструментом.

З конструктивно-монтажної точки зору затискний пристрій складається з базової станини (позиція 1), до якої жорстко приєднано опорний елемент (2) та вертикальні напрямні стійки (3). Дані стійки об'єднані у єдину жорстку раму за допомогою поперечної з'єднувальної планки (4), яка фіксується болтовими з'єднаннями (17) та штифтом (24), що забезпечує незмінність геометрії просторової структури пристрою в умовах циклічного навантаження.

У наскрізному отворі поперечної планки (6) розміщується передня кришка (8) пневматичного циліндра, яка одночасно виконує функцію монтажного вузла й опорної поверхні для подальших конструктивних елементів виконавчого механізму. Пневмоциліндр має класичну модульну конструкцію й складається з передньої (8) та задньої (12) кришок, циліндричного корпусу (10), направляючої гільзи (11), центрувальної втулки (9), поршня (13), а також штока (14), який механічно з'єднаний із поршнем за допомогою фіксувальної гайки (25). Монтаж пневмоциліндра до планки 6 забезпечується шпильками (20) з відповідними гайками (21), а для уникнення пружно-пластичних деформацій у зоні зосередженого навантаження впроваджено додаткову косинку жорсткості (7).

Силовий контур пневмоприводу формує рухома ланка – шток 14, який з одного боку взаємодіє з поршнем, а з іншого – шарнірно сполучений із затискною

вилкою (15) через циліндричні штифти (23), що дозволяє забезпечити точне та контрольоване переміщення в робочому циклі затискання/відпускання. Герметизація функціональних порожнин пневмоциліндра здійснюється за рахунок застосування ущільнювальних елементів у вигляді гумових ущільнювальних кілець: кільця (28) розміщуються між зовнішньою поверхнею поршня і внутрішньою поверхнею гільзи; кільце (29) герметизує сполучення штока з отвором у поршні; кільця (27) встановлюються в контактній зоні між штоком і напрямною втулкою.

Підведення стисненого повітря в робочі порожнини виконується через штуцерні патрубки, інтегровані в передню та задню кришки пневмоциліндра. При подачі повітря у безштокову камеру створюється тиск, який викликає поступальний рух поршня (13) разом зі штоком (14), приводячи до активації затискного механізму. Така кінематична схема забезпечує точне дозоване переміщення із стабільним зусиллям, що критично важливо при шліфуванні деталей з підвищеними вимогами до площинності та паралельності.

За рахунок інтеграції елементів жорсткої конструкції, якісної герметизації й надійної кінематичної передачі зусиль, даний пристрій дозволяє реалізувати високоточне автоматизоване закріплення, яке виключає необхідність ручного втручання оператора та забезпечує повторюваність позиціонування в рамках допусків, встановлених на операцію 070 відповідно до технічних умов на деталь типу «рейка-поршень». У результаті подачі стиснутого повітря у безштокову порожнину пневмоциліндра відбувається поступальний рух поршня разом із прикріпленим до нього штоком, що передає зусилля на вилку (позиція 15). Вказана вилка здійснює прямолінійне переміщення в тому ж напрямку, реалізуючи активне притискання заготовки до опорних поверхонь вертикальних стійок (позиція 3).

Таким чином, досягається гарантоване силове фіксування деталі в стабільному положенні, що забезпечує відтворюваність координатної бази у процесі шліфування.

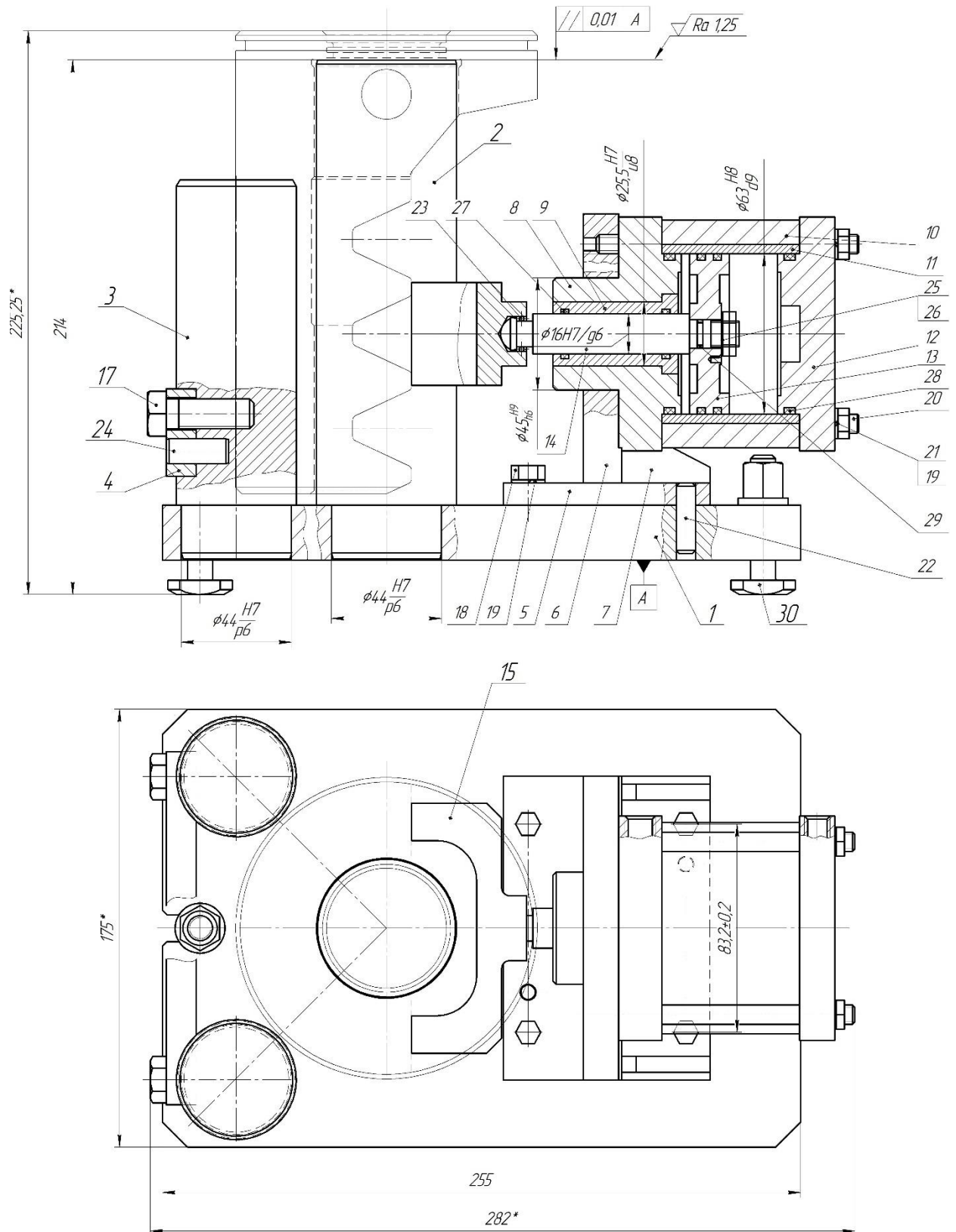


Рис.2.1. Пристрій затискний

У зворотному режимі — при подачі стиснутого повітря до штокової порожнини — поршень, шток та вилка синхронно переміщуються у протилежному напрямку (вправо), що призводить до розтискання силового контуру. Відповідно, контактні поверхні вилок звільняють заготовку, відкриваючи доступ для її зняття або повторного встановлення. Зворотний хід виконується плавно, без пошкодження поверхні деталі, що критично важливо для технологій високоточних шліфувальних операцій.

Отже, запропонована конструкція пневматичного затискного пристрою дозволяє забезпечити високий рівень надійності силового закріплення, мінімізує часові втрати на допоміжні операції встановлення й зняття заготовок, а також сприяє підвищенню продуктивності та стабільності параметрів плоскошліфувальної обробки. Комплексна взаємодія жорстких елементів каркасу, ефективного пневмоприводу та точного кінематичного зв'язку між поршнем і вилкою формує передумови для автоматизації процесу фіксації, що особливо актуально у серійному та масовому виробництві високоточних деталей.

2.1.2. Розрахунок сили затиску деталі

Для забезпечення надійного затиску деталі під час обробки потрібно розрахувати необхідну силу затиску.

При цьому необхідно скласти рівняння рівноваги деталі під дією сили різання, сили затиску та сил тертя між деталлю і установчими елементами пристосування.

Визначену таким чином силу затиску необхідно збільшити шляхом множення на коефіцієнт запасу сили ($K_3=1,5\dots2,5$).

Розрахункова схема показана на рис. 3.2.

Найбільша сила різання при шліфуванні торця деталі рейка-поршень:

$$P_z = C_p \cdot V_d^{0,7} \cdot s_{np}^{0,7} \cdot t^{0,6},$$

де: C_p - коефіцієнт, що залежить від властивостей оброблюваної деталі,

$$C_p = 2,2$$

$$P_z = 2,2 \cdot 28,8^{0,7} \cdot 0,005^{0,7} \cdot 0,1^{0,6} = 6,6 \text{ кгс} = 64,7 \text{ Н}$$

Сила різання P_z створює момент різання M_p , який намагається повернути деталь. Сила тертя F_{mp} , яка виникає між контактуючими поверхнями оброблюваної деталі і елементами затиску створює момент тертя.

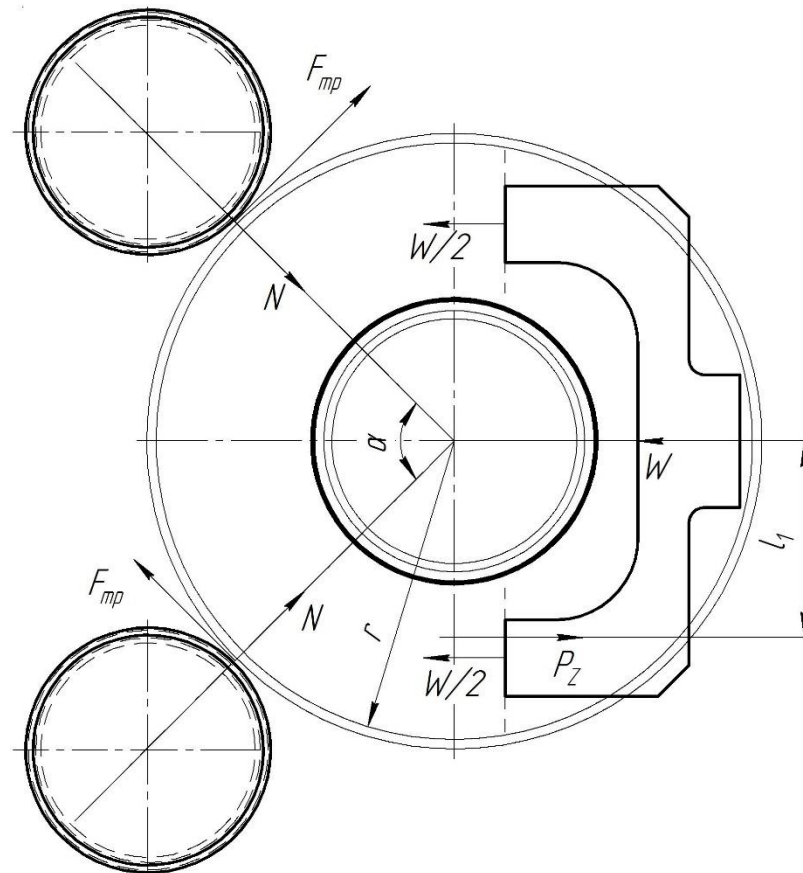


Рис. 2.2. Розміщення сил під час обробки торця

Запишемо рівняння рівноваги деталі:

$$\sum M_o = 0,$$

Складаємо рівняння рівноваги:

$$2 \cdot F_{mp} \cdot r - P_z \cdot l_1 = 0$$

Силу тертя визначаємо за формулою:

$$F_{mp} = N \cdot f$$

$$N = \frac{W}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}$$

Виражаємо силу затиску із рівняння рівноваги:

$$W = \frac{P_z \cdot l_1 \cdot 2 \sin \frac{\alpha}{2}}{2 \cdot f \cdot r} \cdot K,$$

де: l_1 - плече сили P_z ,

K - коефіцієнт запасу сили

$$l_1 = r - \frac{b}{2},$$

де: b - ширина шліфувального круга, мм

$$l_1 = 58,45 - \frac{40}{2} = 38,45 \text{ мм}$$

$$W = \frac{64,7 \cdot 38,45 \cdot 2 \sin \frac{90}{2}}{2 \cdot 0,05 \cdot 58,45} \cdot 2 = 966 \text{ Н}$$

2.1.3. Вибір типу силового приводу, розрахунок параметрів силового приводу

В якості силового приводу маємо пневматичний поршневий привід двохсторонньої дії. Поршневі пневматичні двигуни мають більшу швидкодію у порівнянні із гідродвигунами і мають більш просту конструкцію.

Визначаємо діаметр циліндра силового приводу. Для приводу двохсторонньої дії, коли затискання заготовки відбувається при видвіганні штоку, діаметр циліндра визначаємо за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P_e \cdot \eta}};$$

де: P_e - тиск стиснутого повітря: $P_e = 2 \dots 5 \text{ кгс} / \text{см}^2$;

η - ККД приводу; $\eta = 0,8$:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 966}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,8}} = 62 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр поршня, як найближче більше значення із стандартного ряду діаметрів за ГОСТ 6540-68. Приймаємо діаметр 63 мм.

Визначаємо внутрішній діаметр трубопроводу для подачі стиснутого повітря в циліндр по формулі:

$$d_T = \frac{0,009 \cdot D \cdot \sqrt{\varepsilon \cdot SQ_1}}{t};$$

де:

$$\varepsilon = Q / (F \cdot p \cdot f)$$

$$\varepsilon = Q / (F \cdot p \cdot f) = \frac{966}{3,14 \cdot 31,5^2 \cdot 0,9 \cdot 0,15} = 2,3;$$

t – час спрацювання приводу - $t \leq 0,5$ с;

F – площа поршня, см²; f – коефіцієнт тертя між поршнем і циліндром, який дорівнює 0,9; SQ₁- пневмоциліндру.

Тоді:

$$d_T = \frac{0,009 \cdot 63 \cdot \sqrt{2,3 \cdot 22}}{0,5} = 12,12 \text{ мм}$$

Приймаємо $d_T = 16$ мм.

2.1.4. Розрахунок на міцність слабких ланок пристрою

В даному розділі встановлюємо розміри найбільш слабких елементів пристрою, виконуємо розрахунок їх на міцність і уточнюємо їх розміри.

До числа слабких відносяться елементи, які найбільше навантажені силами, утвореними силовим приводом.

Розраховуємо на міцність штифт 22 плити 5 (рис. 3.1): штифт має діаметр 12 мм; матеріал – сталь 45.

Умова міцності штифтового з'єднання на зрізання:

$$\tau = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} \leq [\tau]$$

$$\tau = \frac{Q}{\frac{3,14 \cdot 12^2}{4}} = 8,55 \text{ Па} \approx 0,002 \text{ МПа}$$

$$[\tau] = 160 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

2.1.5. Розрахунок пристрою на міцність

Виконаємо перевірочний розрахунок на міцність різьбової ділянки гайки поз. 21 (рис. 3.1) М12×2,5, яка навантажена поздовжньою (вздовж осі різьби) силою від дії пневмоприводу.

Матеріал гайки – сталь 40 ГОСТ1050-88.

Основний вид руйнування різьби – зріз витків. Необхідно перевірити умову:

$$\tau \leq [\tau]$$

Допустиме напруження зрізу:

$$[\tau] = 0,2 \cdot \sigma_T = 0,2 \cdot 490 = 98 \text{ МПа}$$

Напруження зрізу розраховуємо за формулою:

$$\tau = \frac{W}{\pi \cdot d \cdot H \cdot K \cdot K_m}$$

де: W – сила затиску, Н;

d – внутрішній діаметр різьби, мм;

H – довжина різьби гайки, мм;

K – коефіцієнт, який враховує тип різьби;

K_m – коефіцієнт.

Тоді:

$$\tau = \frac{658 \cdot 2}{3,14 \cdot 12 \cdot 14 \cdot 0,87 \cdot 0,6} = 4,8 \text{ МПа.}$$

Умову міцності дотримано.

2.1.6. Розрахунок пристрою на точність

Розрахунок пристрою на точність має за мету визначення необхідної точності його виготовлення по вибраному параметру, до яких відносяться:

- а) допуски на координуючі розміри, що задані від баз чи базових поверхонь;
- б) допуски взаємного розміщення (непаралельності або неперпендикулярності тощо) баз або базових поверхонь затискного пристрою.

Точність виготовлення пристрою з достатнім наближенням, а саме тих його елементів, які впливають на точність оброблюваного розміру може бути оцінена допуском, який визначається за формулою:

$$\varepsilon_{np} = T_A - k_m \cdot \sqrt{(k_{m1} \cdot \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_3^2 + (k_{m2} \cdot \omega_{m.o})^2},$$

де: T_A – допуск на виконуваний розмір;

ε_{δ} – похибка базування деталі;

k_m – коефіцієнт, що враховує відхилення розкиду значень складових величин від закону нормального розподілу ($k_m=0,9-1,2$);

k_{m1} – коефіцієнт, що враховує зменшення граничного значення похибки базування при роботі на налаштованому обладнанні ($k_{m1}=0,8 - 0,85$);

k_{m2} – коефіцієнт, що враховує долю похибки обробки в сумарній похибці, що є наслідком факторів, які не залежать від пристрою ($k_{m2}=0,6 - 0,8$);

$\omega_{m.o}$ – середня економічна точність обробки (визначається по таблицям допустимих похибок для даного методу обробки) [27, т.1, с.8-12];

ε_3 – похибка закріплення деталі [9, с.16-19];

При використанні механізованих затискних пристроїв, що забезпечують сталість сили затиску похибка закріплення деталі дорівнює нулю.

Визначаємо фактичну похибку затискного пристрою:

$$\varepsilon_{np} = 0,1 - 0,9 \cdot \sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0,01 + (0,6 \cdot 0,04)^2} = 0,007 \text{ мм}$$

2.2. Розрахунок та розробка конструкції контрольно-вимірювального пристрою

2.2.1. Опис конструкції та роботи пристрою

Контрольний пристрій індикаторного типу (рис. 3.3) застосовується для контролю допуску розміру $64 \pm 0,1$ по впадині зубця рейки-поршня.

Контрольний пристрій складається з основи 3, на якій встановлено колону 6. На колоні 6 встановлено тримач 11, який закріплюється в потрібному положенні за допомогою гвинта 15. За допомогою гвинтів 18 до тримача 11 прикріплено стійку 10. До тримача 11 гвинтами 19 прикріплені платини 9. Між пластинами 9 розміщені пружини 13. Важіль 12 кріпиться до пластин 9 гвинтами 19. В отворах важеля 12 встановлені п'ята 4 та наконечник 5. Струбцина 1 має гвинт 7 та ручку 8.

У середню впадину рейки-поршня вставляється ролик 21, який струбциною 1 міцно притискається до деталі за допомогою гвинта 7, що загвинчується обертанням ручки 8. Рейка-поршень із роликом та струбциною ставиться торцем деталі на основу 3 таким чином, щоб поверхня наконечника 5 опинилася на циліндричній поверхні ролика 21 між двома рядами зубчатих рейок. Контакт поверхні ролика 21 із наконечником 5, зумовлює тиск останнього на важіль 12, в отворі якого і встановлено наконечник 5. Пружина 13, що контактує із важелем 12 та тримачем 11 призначена для забезпечення постійного контакту поверхні штока індикатора із циліндричною поверхнею ролика. Пружина 13 дає змогу важелю 12 повертатись. При менших значеннях контролюємого допуску, важіль 12, за допомогою пружини 13, відхилиться за ходом годинникової стрілки. Відповідно, п'ята 4, яка контактує із індикатором 20, теж відхилиться за ходом годинникової стрілки. Таким чином, стрілка індикатора покаже значення відхилення контролюємого допуску. При більших значеннях контролюємого допуску, важіль 12 із п'ятою 4 та наконечником 5 відхилиться у напрямку проти ходу годинникової стрілки та за показаннями індикатора можна судити про значення відхилення.

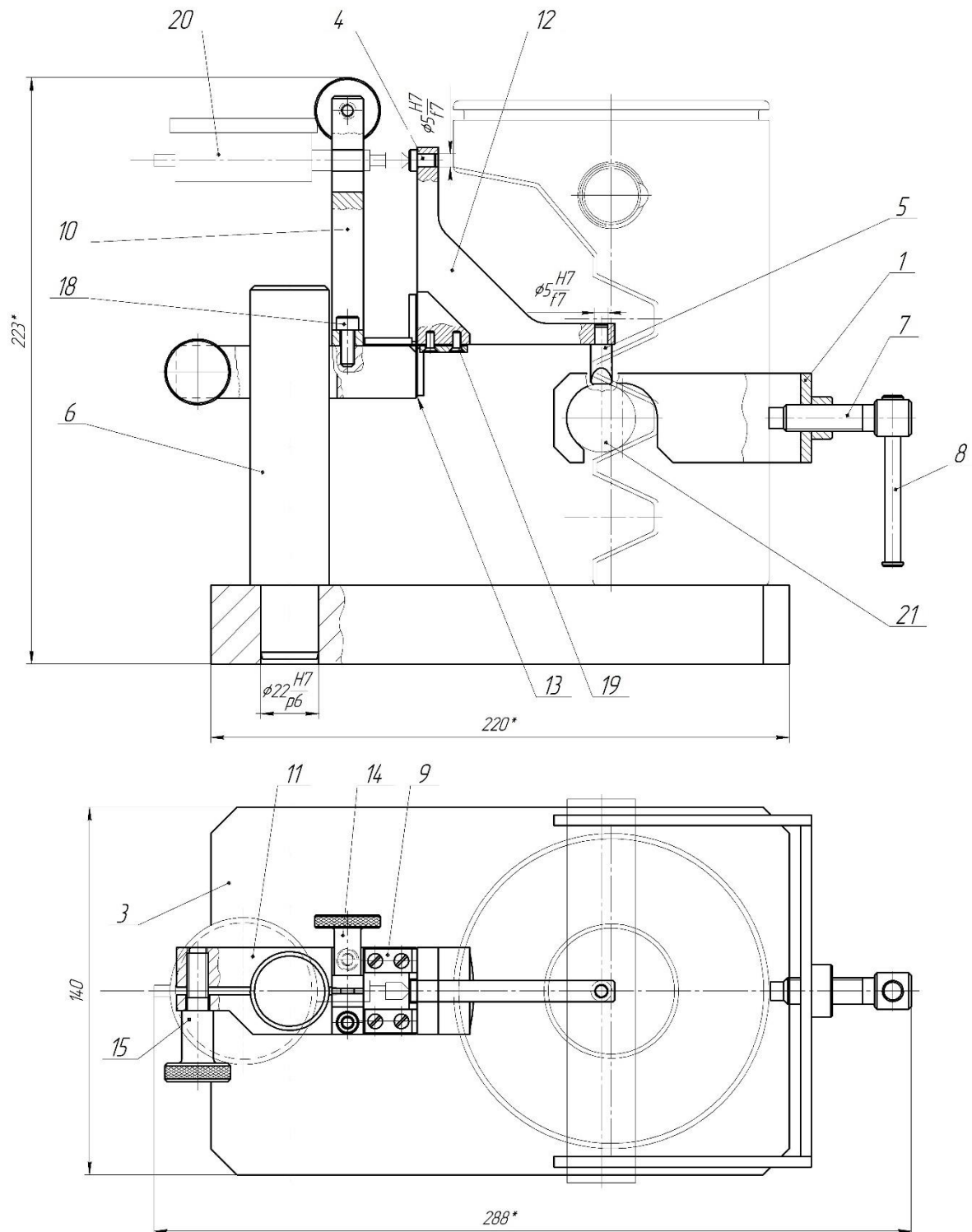


Рис. 2.3. Пристрій контрольний

Для зняття рейки-поршня з контрольного пристрою необхідно відвести деталь до повного припинення контакту поверхні наконечника 5 із циліндричною поверхнею ролика. За допомогою ручки 8 відкрити гвинт 7 струбцини 1. Зняти струбцину 1 та ролик 21 з деталі рейка-поршень.

2.2.2. Визначення похибок вимірювання і перевірка умови працездатності пристрою

Перевірку умов працездатності контрольного пристрою визначасмо за формулою

$$\sqrt{\Delta_{\delta}^2 + \Delta_{\delta 0}^2 + \Delta_{nn}^2 + \Delta_{\epsilon z}^2 + \Delta_{\epsilon z \epsilon}^2 + \Delta_{\epsilon i d}^2} \leq [\Delta_{вилм}]$$

де: Δ_{δ} – похибка базування контрольованої деталі, $\Delta_{\delta} = 0$;

$\Delta_{\delta 0}$ – похибка встановлення деталі, $\Delta_{\delta 0} = 0,001$ мм;

Δ_{nn} – похибка передавального пристрою, $\Delta_{nn} = 0,002$ мм;

$\Delta_{\epsilon z}$ – похибка вимірювального засобу, $\Delta_{\epsilon z} = 0,0005$ мм;

$\Delta_{\epsilon z \epsilon}$ – похибка встановлення засобу вимірювання, $\Delta_{\epsilon z \epsilon} = 0,0009$ мм;

$\Delta_{\epsilon i d}$ – похибка відліку, $\Delta_{\epsilon i d} = 0$

$[\Delta_{вилм}]$ – допустима похибка вимірювання, $[\Delta_{вилм}] = 0,0025$ мм.

Тоді:

$$\sqrt{0,001^2 + 0,002^2 + 0,0005^2 + 0,0009^2} = 0,0024 \text{ мм}$$

Умова виконується.

2.2.3. Розробка креслення загального виду пристрою

Креслення загального виду контрольного пристрою виконуємо в необхідній для уявлення його конструкції кількості проєкцій і в положенні контролю деталі, яку зображуємо тонкими лініями.

На кресленні проставляємо габаритні розміри, установчі розміри, посадки основних спряжень, допуск розташування найбільш важливих поверхонь. У стислій формі формулюємо технічні вимоги до контрольного пристрою. Креслення загального виду контрольного пристосування представлено в графічній частині магістерської роботи.

2.3. Розрахунок та розробка конструкції спеціального ріжучого інструменту

2.3.1. Опис конструкції спеціального ріжучого інструменту

Розрахунок проводимо для пальцевої модульної фрези. Дана фреза використовується при фрезеруванні трьох впадин зубчатої рейки в рейці-поршні УЯИШ 716652.70 на фрезерному з ЧПУ верстаті ГФ2171С5.

2.3.2. Розрахунок пальцевої модульної фрези

Пальцеві модульні фрези застосовують для фрезерування профілю прямозубих та косозубих зубчастих коліс крупного модуля ($m \geq 10$). На 2 переході 035 фрезерної з ЧПУ операції виконується чорнове фрезерувати трьох впадин зубчатої рейки з модулем $m = 12$.

Конструктивними елементами пальцевої модульної фрези є (рис. 2.4):

- зовнішній діаметр фрези D ;
- діаметр різальної частини D_p ;
- діаметр різальної частини d_p ;
- довжина різальної частини l_p ;
- загальна довжина фрези L ;
- кількість зубців фрези Z .

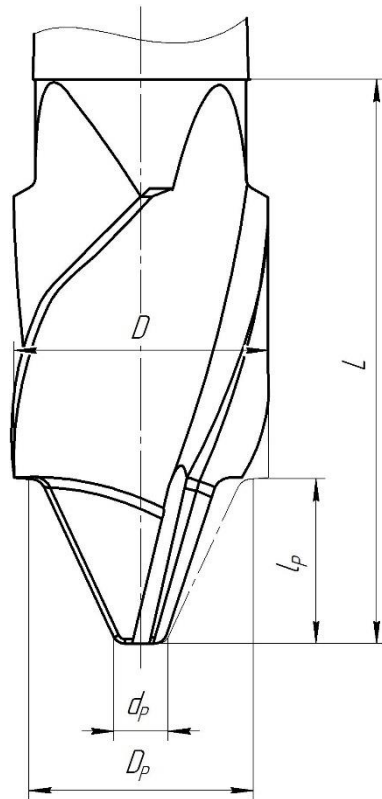


Рис. 2.4. Конструктивні елементи пальцевої модульної фрези

Профіль зуба пальцевої модульної фрези для фрезерування прямих зубців повинен в точності відповідати профілю впадини зубців рейки-поршня (рис. 3.5).

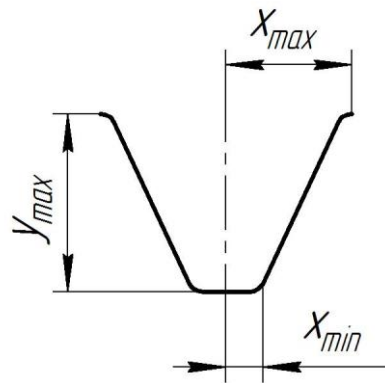


Рис. 2.5. Профіль впадини зубчатої рейки

Діаметр різальної частини d_p визначається за формулою [3]:

$$d_p = 2 \cdot x_{\min},$$

де: x_{\min} - мінімальна абсциса профіля впадини зубчатої рейки,

$$d_p = 2 \cdot 3 = 6 \text{ мм}$$

Діаметр різальної частини D_p визначається за формулою:

$$D_p = 2 \cdot x_{\max},$$

де: x_{\max} - максимальна абсциса профіля впадини зубчатої рейки,

$$D_p = 2 \cdot 12,06 = 24,12 \text{ мм}$$

Зовнішній діаметр фрези D визначається за формулою:

$$D = 2 \cdot x_{\max} + (3 \div 10),$$

$$D = 2 \cdot 12,06 + 3,88 = 28 \text{ мм}$$

Довжина різальної частини l_p визначається за формулою:

$$l_p = y_{\max},$$

де: y_{\max} - максимальна глибина профіля впадини зубчатої рейки,

$$l_p = 18,1 \text{ мм}$$

Загальна довжина фрези L визначається за формулою:

$$L = (1,9 \div 4) \cdot l_p,$$

$$L = 3,25 \cdot 18,1 = 59 \text{ мм}$$

Кількість зубців фрези приймаємо $Z = 3$.

Визначаємо кути пальцевої модульної фрези.

Для чорнових пальцевих фрез:

- передній кут має бути в межах $8-10^0$. Приймаємо передній кут $\gamma = 10^0$;
- задній кут має бути в межах $12-30^0$. Приймаємо задній кут $\alpha = 14^0$;
- кут загострення утворюється передньою та задньою поверхнями. Міцність зубця фрези тим більший, чим більший кут загострення. Однак, збільшення цього кута утруднює врізання зубця в оброблюваний матеріал та підвищує температуру різання. Приймаємо кут врізання $\beta = 68^0$;
- кут нахилу гвинтової різальної кромки слугує для збільшення плавності роботи фрези та для створення напряму сходу стружки. Кут нахилу гвинтової різальної кромки має бути в межах $10-55^0$. Приймаємо $\omega = 45^0$.

Хвостовиком проектуємої пальцевої модульної фрези є конус інструментальний. За ГОСТ 25557-2006 обираємо конус Морзе №3, який кріпиться до робочої частини зварюванням.

Конструкція пальцевої модульної фрези представлена на рисунку 3.6.

Матеріал різця: хвостовика – сталь 40Х ГОСТ 4543-71; робоча частина – сталь Р9 (Р6М5) ГОСТ19265-73.

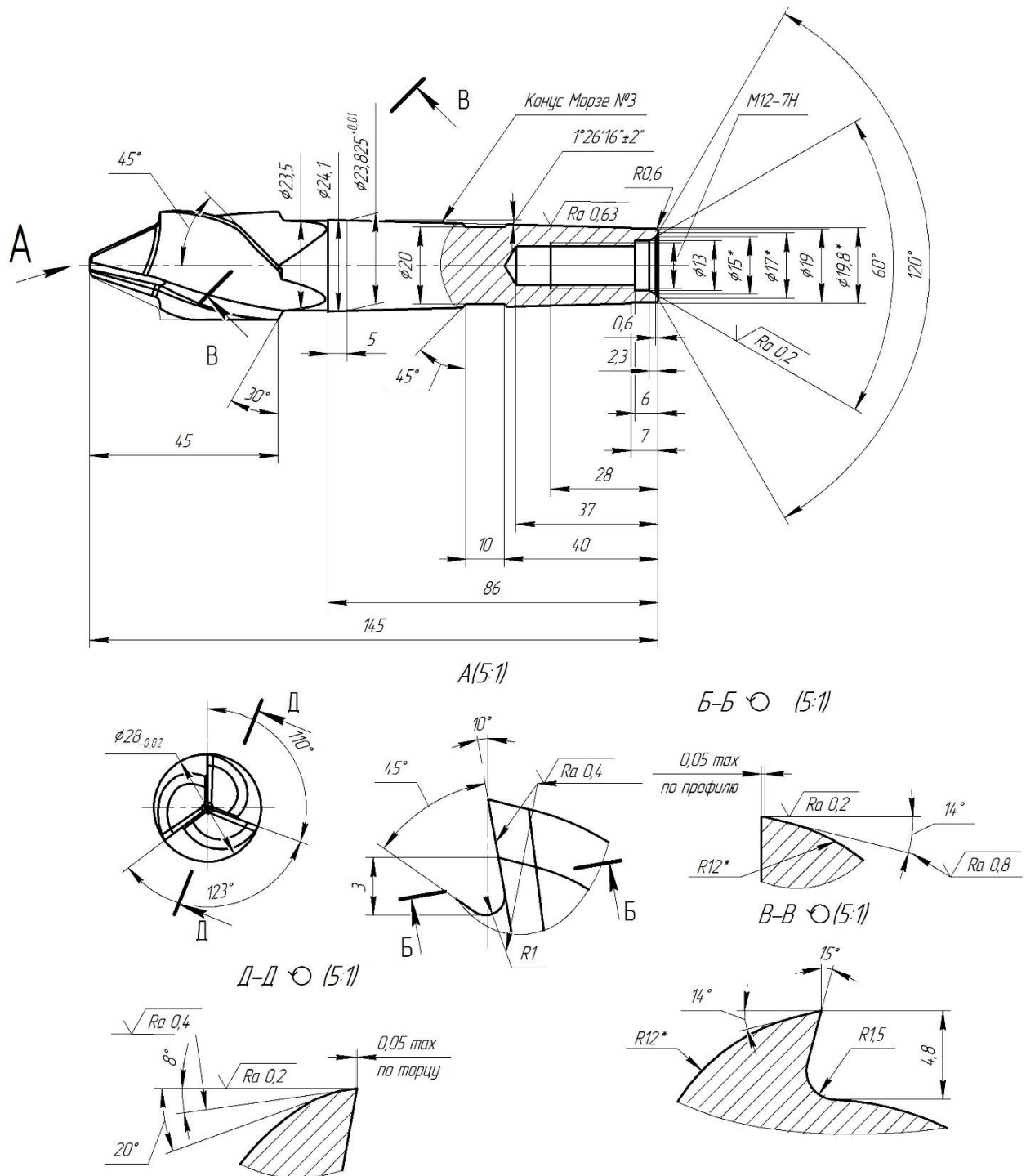


Рис. 2.6. пальцевої модульної фрези

2.3.3. Розробка креслення спеціального ріжучого інструменту

Креслення спеціального ріжучого інструменту виконуємо в необхідній для уявлення його конструкції кількості проекцій і перерізів.

На кресленні проставляємо всі необхідні розміри, шорсткість поверхонь інструмента, а також допуск розташування найбільш важливих поверхонь. У стислій формі формулюємо технічні вимоги до різального інструменту. Складальне креслення ріжучого інструменту представлено в графічній частині магістерської роботи.

Висновки

В кваліфікаційній роботі на тему: «Розробка технологічного оснащення для виготовлення деталі рейка-поршень кульково-гвинтового гідропідсилювача»

У результаті проведеного дослідження конструкції та принципу дії пневматичного затискного пристрою для фіксації деталі типу «рейка-поршень» при виконанні операції плоскошліфування на верстаті 3E711, можна зробити такі техніко-наукові узагальнення:

Раціональність вибору пневмоприводу підтверджена технічними характеристиками обробки — пристрій забезпечує стабільне та повторюване зусилля притиску, що є критично важливим для досягнення високої точності та якості шліфувальної обробки. Завдяки автоматизованому керуванню, пневмоциліндр дозволяє здійснювати швидке затискання та розтискання заготовки, що зменшує тривалість допоміжного часу в циклі обробки.

Конструктивна схема пристрою є простою, технологічною та жорсткою: жорсткість забезпечується симетричним розташуванням елементів, зокрема стійок, косинки та планки, що з'єднує опори. Це сприяє мінімізації деформацій та відхилень під дією динамічних сил шліфування.

Високий рівень герметичності пневматичного приводу досягнуто завдяки застосуванню системи ущільнень у критичних зонах – між поршнем, гільзою, штоком і втулкою. Це забезпечує ефективну роботу пристрою у тривалому режимі без втрат тиску.

Функціональність конструкції дозволяє забезпечити надійне позиціонування деталі відносно базових поверхонь затискного пристрою. Контакт внутрішнього торця заготовки з торцем опори створює стабільну базу, що зменшує ймовірність похибок при шліфуванні.

Можливість інтеграції в автоматизовані системи — застосування пневматичного принципу дії дозволяє адаптувати пристрій до умов автоматизованого або роботизованого виробництва, що є перспективним напрямком розвитку сучасних шліфувальних дільниць.

Експлуатаційна надійність пристрою підвищується завдяки використанню стандартизованих та уніфікованих елементів, таких як ущільнення, штуцери, кріплення, що спрощує обслуговування та ремонт.

Таким чином, розроблений та проаналізований пневматичний затискний пристрій повністю відповідає вимогам точності, надійності та продуктивності, необхідним для обробки деталей типу «рейка-поршень» на верстаті 3E711. Його впровадження у виробничий процес дозволить знизити трудомісткість підготовчо-заключних операцій, підвищити якість оброблених поверхонь та загальну ефективність технологічного процесу.

Перелік використаних джерел

1. 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.
2. Апаракін А.Р. Синтез схем навантаження силових елементів кулькогвинтового гідропідсилювача з аксіальною структурою приводу / А.Р. Апаракін, П.М. Єрьомін, В.А. Мажара // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – Вип. 9 (40). - Ч. II. – С. 23-31.
3. 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.
4. Мажара В. А. Контрольно-вимірювальні пристрої. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи студентами денної та заочної форми навчання напрямку «Інженерна механіка» з профілюванням за спеціальністю «Технологія машинобудування». – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 48 с.
5. Мажара В. А. Технологічна оснастка. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи студентами денної форми навчання напрямку «Інженерна механіка» з профілюванням за спеціальністю «Технологія машинобудування». – Кіровоград: КНТУ, 2009. – 44 с.
6. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту по кафедрі «Технологія машинобудування» для студентів спеціальності 8.090202 /Уклад. І.І. Павленко та ін. – Кіровоград: КДТУ, 2002. – 40с.
7. Кривошея А.В., Данильченко Ю.М., Мельник В.Е., Благут Э.М. Перспективы применения твердосплавных отрезных дисковых фрез при обработке цилиндрических зубчатых колес // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – Вып.69. – С. 115-120.

8. Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Пастернак С.І., Короткий Є.В. Кінематика формоутворення циліндричних зубчастих коліс з заданим профілем дисковим інструментом // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, сер. Машиностроение. – 2005. – № 46. – С. 104-108.
9. Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Пастернак С.І. Математичне моделювання законів руху дискового інструменту при обробці зубчастих коліс довільного профілю // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, сер. Машиностроение. – 2006. – № 49. – С. 104-108.
10. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / К. К. Щербина та ін., – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. 16с.
11. Боровик О. В., Малашин М. О. Довідник з креслення. Стандарти ISO : навчально-методичний посібник. Хмельницький: Видавництво НАДПСУ. 2014. 104 с.
12. ДСТУ ISO 128-1:2005 Технічні Кресленики. Загальні принципи оформлення. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
13. ДСТУ EN ISO 10209:2018 Технічна документація на продукцію. Словник термінів щодо технічних креслеників, визначення виробів і відповідної документації. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2008.
14. ДСТУ ISO 5457:2006 Документація технічна на вироби. Розміри та формати. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2008.
15. ДСТУ ISO 5455:2005 Кресленики технічні. Масштаби. [Чинний від 2006- 07- 01]. Київ, 2006.
16. ДСТУ ISO 3098-0:2006 Документація технічна на вироби. Шрифти. Загальні вимоги. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2006.
17. ДСТУ ISO 128-20:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи подавання. Частина 20. Основні положення про лінії. [Чинний від 2007- 04-01]. Київ, 2007.

- 18.ДСТУ ISO 128-21:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 21. Лінії, виконані автоматизованим проектуванням. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 19.ДСТУ ISO 128-22:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 22. Основні положення та правила застосування 27 ліній виносок і полиць ліній-виносок. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 20.ДСТУ ISO 128-24:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 24. Лінії на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 21.ДСТУ ISO 128-30:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 30. Основні положення про види. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 22.ДСТУ ISO 128 34:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 34. Види на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 23.ДСТУ ISO 128-40:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 40. Основні положення про розрізи та перерізи. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 24.ДСТУ ISO 128-44:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 44. Розрізи та перерізи на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2006-07-01]. Київ, 2005.
- 25.ДСТУ ISO 128 50:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 50. Основні положення про зображення розрізів і перерізів. [Чинний від 2006-07-01]. Київ, 2006.
- 26.ДСТУ EN ISO 1302:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Познака зовнішньої текстури в технічній документації на продукцію. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
- 27.ДСТУ ISO 129 1:2007 Кресленики технічні. Проставлення розмірів і допусків. Частина 1. Загальні принципи. [Чинний від 2009-07-01]. Київ, 2010.

- 28.ДСТУ ISO 286-1-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок. [Чинний від 2003-10-01]. Київ, 2003. 28
- 29.ДСТУ EN ISO 2692:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Визначення геометричних допусків. Вимоги щодо максимуму матеріалу (MMR), мінімуму матеріалу (LMR) та взаємодії (RPR). [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
- 30.ДСТУ ISO 2768-1:2001 Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.
- 31.ДСТУ ISO 2768-2:2001 Основні допуски. Частина 2. Допуски геометричні для елементів без спеціального позначення допусків. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.
- 32.ДСТУ ISO 5458-2001 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Встановлення геометричних допусків. Позиційні допуски. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.
- 33.ДСТУ EN ISO 5459:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Геометричні допуски. Бази та системи баз. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
- 34.ДСТУ ISO 7083:2009 Кресленики технічні. Умовні позначки геометричних допусків. Співвідношення та розміри. [Чинний від 2011-07-01]. Київ, 2015.
- 35.ДСТУ ISO 10578:2014 Кресленики технічні. Допуски орієнтування та розташування. Виступне поле допуску. [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015.
- 36.ДСТУ EN ISO 6433:2018 Кресленики технічні. Позначення деталей. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
- 37.ДСТУ EN ISO 7200:2005 Розроблення технічної документації. Графи у штампах та основних написах. [Чинний від 2006-10-01]. Київ, 2007.
- 38.ДСТУ ISO 7573:2006 Кресленики технічні. Специфікація. [Чинний від 2001-06-27]. Київ, 2008.