

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення
деталі «Черв'як» та обґрунтування параметрів різального
інструменту за допомогою САПР

Виконав: здобувач групи ПМ-22
Дужченко І.Є.

Керівник випускної роботи:
доцент, к.т.н., Бондар О.В.

Кривий Ріг
2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ**

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення
деталі «Черв'як» та обґрунтування параметрів різального
інструменту за допомогою САПР

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Ілля ДУЖЧЕНКО

Керівник КБР

(підпис)

Олена БОНДАР

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

м. Кривий Ріг
2026 р.

Криворізький національний університет
Факультет: механічної інженерії та транспорту
Кафедра: технології машинобудування
Ступінь вищої освіти: бакалавр
Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Затверджую
Зав. кафедри доцент, к.т.н., Рязанцев А.О.

(дата)

(підпис)

ЗАВДАННЯ **на кваліфікаційну бакалаврську роботу**

Здобувача групи ПМ-22 Дужченка Ілля Євгенійовича

1. Тема: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Черв'як» та обґрунтування параметрів різального інструменту за допомогою САПР

Керівник проєкту: доц., к.т.н. Бондар О.В.

Затверджена наказом по КНУ № _____ від «__» _____ 2026 р.

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи «__» _____ 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Найменування вузла. 2. Кресленник деталі «Черв'як». 3. Річна програма випуску деталей

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі. 2. Технологічна підготовка виробництва деталі. 3. Вибір ріжучих та допоміжних інструментів за міжнародними стандартами. 4. Проєктування та інженерний аналіз різального інструменту. 5. Моделювання та програмування операцій механічної обробки. 6. Організаційно-економічна підготовка виробництва.

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Черв'як. 2. Верстатно-інструментальне налагодження. 3. Фреза черв'ячна. 4. Моделювання процесу обробки. 5. Інженерний аналіз спеціального різального інструменту.

6. Календарний план:

№ з/п	Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1.	Розробка та узгодження технічного завдання	25.02.2026
2.	Технічне завдання та аналіз вихідних даних	01.03.2026
3.	Призначення об'єкту виробництва	03.03.2026
4.	Аналіз технологічності деталі.	10.03.2026
5.	Кресленник деталі (A1-A4).	18.03.2026
6.	Вибір та обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі.	24.03.2026
7.	Розробка технологічного маршруту обробки деталі.	05.04.2026
8.	Вибір параметрів ріжучої частини інструментів.	12.04.2026
9.	Розрахунок конструктивних параметрів ріжучої частини інструменту.	19.04.2026
10.	Вибір розмірів ріжучого інструменту.	25.04.2026
11.	Кресленник спеціального ріжучого інструменту (A2-A4).	01.05.2026
12.	Кресленник з інженерним аналізом спеціального різального інструменту	04.05.2026
13.	Вибір допоміжних інструментів.	08.05.2026
14.	Розробка та креслення об'єднаного верстатно-інструментального (A1-A2)	12.05.2026
15.	Моделювання та програмування операцій механічної обробки	15.05.2026
16.	Кресленник змодельованого процесу обробки (A1-A2)	22.05.2026
17.	Організаційно-економічна підготовка виробництва.	27.05.2026
18.	Висновки	01.06.2026
19.	Оформлення РПЗ	07.06.2026
20.	Попередній захист	11.06.2026

Дата видачі завдання: « ____ » _____ 2026 р.

Завдання видав керівник КБР

/ Бондар О.В./

Завдання отримав
здобувач освіти

/ Дужченко І.Є./

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка до КБР (кваліфікаційної бакалаврської роботи) налічує 75 сторінок, 36 рисунків та 16 таблиць і присвячена конструкторсько-технологічній підготовці виготовлення деталі «Черв'як» та обґрунтуванню параметрів різального інструменту за допомогою CAD/CAM/CAE систем. У ході виконання роботи було проведено аналіз службового призначення деталі, вибір матеріалу (сталь 50 ДСТУ 7809:2015) та способу отримання заготовки (поковка вільного кування), а також розроблено маршрутну-операційну технологію механічної обробки. Особливу увагу приділено вибору ріжучих та допоміжних інструментів відповідно до міжнародних стандартів, а також проєктуванню спеціального різального інструменту (черв'ячної фрези) з подальшим інженерним аналізом його міцності та працездатності.

Метою роботи також було моделювання та програмування операцій механічної обробки деталі «Черв'як» на верстатах з ЧПК, зокрема токарних, фрезерно-свердлильних і круглошліфувальних операцій, а також аналіз організаційно-економічної ефективності виробництва. У роботі розглянуто питання охорони праці та екології виробництва, зокрема вплив продуктів металообробки, таких як стружка та мастильно-охолоджуючі рідини, на працівників і навколишнє середовище, а також запропоновано заходи для підвищення безпеки праці.

Для виконання роботи були використані сучасні каталоги металорізального інструменту, державні стандарти та програмне забезпечення SOLIDWORKS для створення тривимірних моделей і проведення інженерного аналізу, а також Autodesk FeatureCAM для моделювання та програмування процесів механічної обробки. У роботі застосовано сучасне обладнання з ЧПК, зокрема токарний верстат Doosan PUMA GT2600M, фрезерний 5-осьовий обробний центр HAAS UMC-750 та круглошліфувальний верстат Studer S33, що забезпечують необхідну точність і продуктивність виготовлення деталі в умовах серійного виробництва.

ЧЕРВ'ЯК, ЧПК, SOLIDWORKS, FEATURECAM, МЕХАНІЧНА ОБРОБКА, РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ, ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.Р			
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розроб.		Дужченко			Аналіз службового призначення деталі	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Бондар						
Н. контр.		Нечасв				Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Затверд.		Рязанцев						

ABSTRACT

The calculation and explanatory note to the bachelor's qualification thesis consists of 75 pages, 36 figures, and 16 tables and is devoted to the design and technological preparation for manufacturing the "Worm" part and justification of cutting tool parameters using CAD/CAM/CAE systems. During the work, the analysis of the functional purpose of the part, the selection of material (Steel 50) and the method of obtaining the blank (free forging), as well as the development of the route-operational machining technology were carried out. Special attention was paid to the selection of cutting and auxiliary tools according to international standards, as well as to the design of a special cutting tool (worm milling cutter) with subsequent engineering analysis of its strength and performance.

The purpose of the work was also the simulation and programming of machining operations for the "Worm" part on CNC machines, including turning, milling, drilling, and grinding operations, as well as the analysis of organizational and economic efficiency of production. The thesis also considers occupational safety and production ecology issues, particularly the impact of metalworking products such as chips and cutting fluids on workers and the environment, and proposes measures to improve workplace safety.

To complete the work, modern catalogs of cutting tools, current state standards, and software such as SOLIDWORKS for 3D modeling and engineering analysis, as well as Autodesk FeatureCAM for simulation and CNC programming of machining processes, were used. The work also involves the use of modern CNC equipment, including the Doosan PUMA GT2600M CNC lathe, the HAAS UMC-750 5-axis vertical machining center, and the Studer S33 CNC cylindrical grinding machine, which ensure the required accuracy and productivity of manufacturing in serial production conditions.

WORM GEAR, CNC, SOLIDWORKS, FEATURECAM, MACHINING, CUTTING TOOL, ENGINEERING ANALYSIS, TECHNOLOGICAL PROCESS.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.Р	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	
ДЕТАЛІ.....	11
1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних.....	11
1.2 Призначення об'єкту виробництва як елементу вузла, механізму машини з характеристикою будови, принципів роботи, кінематичних та силових ланцюгів	13
1.3 Розрахунок параметрів точності шпонкового з'єднання.....	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА	
ДЕТАЛІ.....	17
2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів заміни.....	17
2.2 Аналіз якості поверхонь деталей.....	19
2.3 Технічний контроль робочого креслення.....	22
2.4 Аналіз технологічності деталі.....	22
2.5 Вибір та економічне обґрунтування способу отримання заготовки.....	24
2.6 Вибір конструкторських, технологічних і вимірювальних баз.....	26
2.7 Розробка маршрутно-операційної технології обробки деталі.....	30
2.8 Характеристика верстатного оснащення.....	34
3 ВИБІР РІЖУЧИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ.....	41
3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі.....	41
3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів.....	41
3.3 Вибір типорозміру різальних інструментів.....	49

					КНУ.КБР.131.26.1-07.В			
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розроб.	Дужченко							
Перевір.	Бондар							
Н. контр.	Нечасв							
Затверд.	Рязанцев							
					Літ.		Арк.	Аркушів
					Вступ			
					Кафедра ТМ гр. ПМ-22			

3.4 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту.....	51
3.5 Вибір параметрів допоміжної частини інструментів.....	52
4 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	56
4.1 Розрахунок та проєктування спеціального різального інструменту.....	56
4.2. Інженерний аналіз спеціального різального інструменту.....	62
5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ.....	65
5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, налаштування постпроцесора	65
5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм.....	66
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА.....	68
6.1 Охорона праці та екологія виробництва.....	68
6.2 Оцінка техніко-економічної ефективності вибору токарного обладнання..	69
ВИСНОВОК.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74
ДОДАТОК.....	75

					КНУ.КБР.131.26.1-07.3	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасних умовах машинобудування відіграє ключову роль практично в усіх сферах діяльності людини. Постійне підвищення вимог до точності, надійності та довговічності деталей (зокрема, елементів черв'ячних передач) вимагає обов'язкового застосування сучасного металорізального обладнання з ЧПК, інженерного аналізу та новітніх підходів до проєктування і механічної обробки.

Метою даної кваліфікаційної бакалаврської роботи є конструкторсько-технологічна підготовка виробництва деталі «Черв'як» із використанням сучасних CAD/CAM/CAE систем. У процесі виконання роботи було проаналізовано службове призначення та конструкцію деталі, обґрунтовано вибір матеріалу (сталь 50) та визначено раціональний спосіб отримання заготовки методом вільного кування. Також було розроблено маршрутно-операційну технологію механічної обробки та виконано підбір стандартного різального і допоміжного інструменту.

Окрему увагу в проєкті приділено розрахунку та інженерному аналізу спеціального різального інструменту (черв'ячної фрези) у програмному середовищі SOLIDWORKS Simulation, а також моделюванню технологічної операції фрезерування шпонкового паза з перевіркою керуючої програми в Autodesk FeatureCAM. Крім того, у роботі розглянуто питання охорони праці, екологічної безпеки виробництва та розраховано економічну доцільність впровадження сучасного токарного центру Doosan PUMA GT2600M.

Результати проведених досліджень і розрахунків спрямовані на підвищення точності та продуктивності виготовлення деталі, зниження собівартості механічної обробки та загальне вдосконалення технологічних процесів на машинобудівному підприємстві.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.В			
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розроб.		Дужченко			Вступ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Бондар						
Н. контр.		Нечасв				Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Затверд.		Рязанцев						

KHYKBP.13126.1-07.4

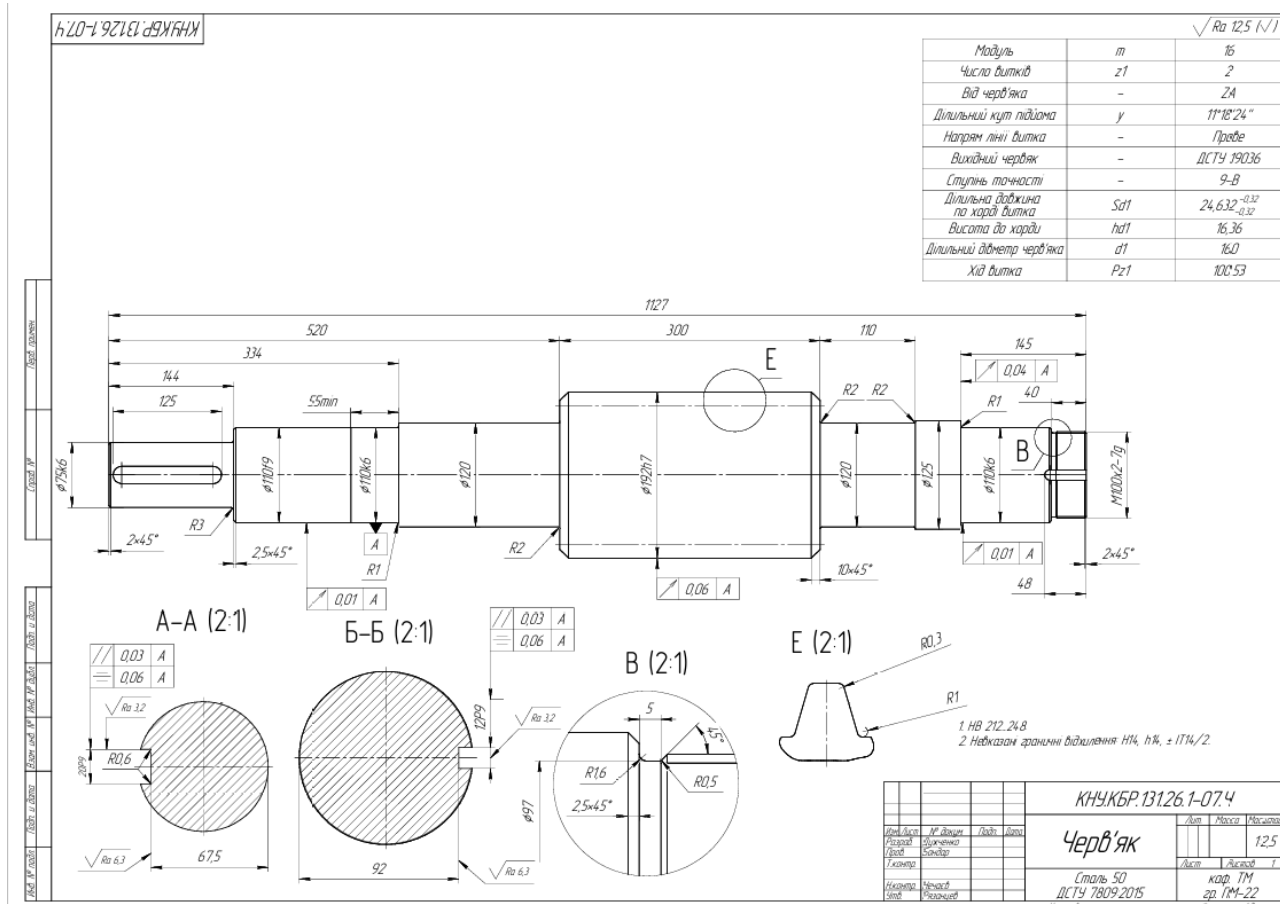


Рисунок 1.1 – Креслення деталі “Черв’як”

Подане креслення належить до технічної документації та відображає будову деталі, її геометричні параметри і технічні вимоги. На ньому представлена деталь типу “Черв’як”, яка є елементом черв’ячної передачі.

Деталь має складну ступінчасту циліндричну форму та містить такі конструктивні елементи: черв'ячний профіль (різбову частину), посадочні циліндричні поверхні, фаски, радіусні переходи, шпонкову канавку, а також поперечний отвір.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.01.АСПД							
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Аналіз службового призначення деталі				Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Дужченко										
Перевір.		Бондар										
									Кафедра ТМ гр. ПМ-22			
Н. контр.		Нечасв										
Затверд.		Рязанцев										

До основних габаритних розмірів деталі відносяться:

- загальна довжина – 1127 мм;
- найбільший діаметр – Ø192 мм;
- модуль черв'яка – $m = 16$;
- число витків – $z = 2$;
- напрямок витків – правий.

Деталь виготовляється зі сталі 50 ДСТУ 1050-88, що забезпечує достатню міцність та зносостійкість у процесі експлуатації.

На кресленні виконано кілька виносних перерізів (А–А, Б–Б, В), які уточнюють форму шпонкової канавки, внутрішні радіуси та профіль окремих ділянок. Також присутні місцеві види для уточнення фасок і радіусів.

Креслення є достатньо інформативним, містить усі необхідні розміри, допуски та вимоги до шорсткості поверхонь, що дозволяє виконати виготовлення деталі без додаткових пояснень.

У SOLIDWORKS розроблено 3D-модель даної деталі, яка наведена на рисунку 1.2.

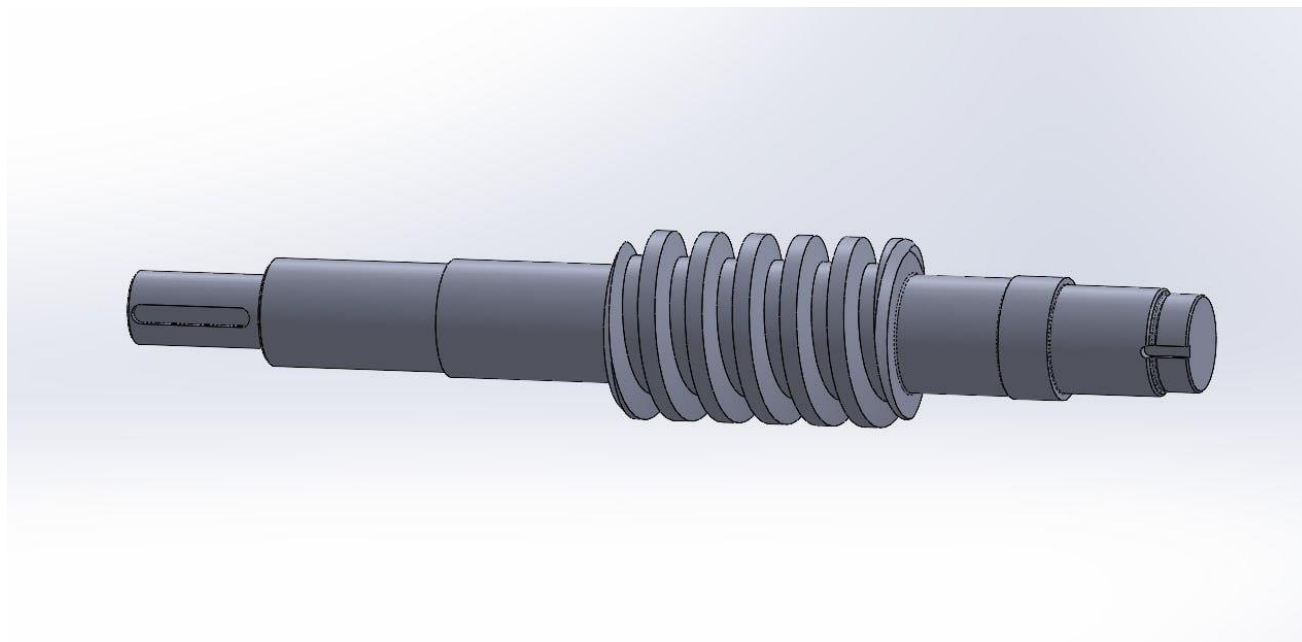


Рисунок 1.2 – 3D-модель деталі

Згідно зі штампом креслення, деталь має профіль витка типу ZA (архімедів черв'як). Цей тип профілю характеризується прямолінійним контуром в осьовому перерізі, що робить його досить технологічним під час нарізання різьби на токарно-гвинторізних верстатах стандартними різцями. Ступінчаста форма вала суворо обумовлена необхідністю послідовного монтажу підшипникових вузлів, ущільнювальних манжет та деталей, що сполучаються.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.01.АСПД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Наявність жолобників (радіусних переходів) та фасок на торцях ступенів виконує подвійну функцію: по-перше, вони значно знижують концентрацію внутрішніх напружень у місцях різкої зміни діаметра, а по-друге, виступають у ролі напрямних баз, запобігаючи перекосам та пошкодженням поверхонь під час складання вузла. Використання 3D-моделі в середовищі SOLIDWORKS на етапі підготовки виробництва дозволяє не лише візуально оцінити збираність конструкції, а й відкриває можливості для автоматизованого розрахунку масо-інерційних характеристик та генерації керуючих програм для верстатів із ЧПК.

1.2 Призначення об'єкту виробництва як елементу вузла, механізму машини з характеристикою будови, принципів роботи, кінематичних та силових ланцюгів

Деталь „Черв'як“ є основним елементом черв'ячної передачі, призначеним для передавання обертального руху між валами, осі яких зазвичай перехрещуються під кутом 90° . Черв'ячні передачі знаходять широке застосування в редукторах, підйомних механізмах, верстатах, транспортних та приводних системах.

Конструктивно черв'як являє собою вал з гвинтовою різьбою спеціального профілю. Під час роботи він взаємодіє з черв'ячним колесом, перетворюючи обертальний рух високої швидкості на обертання з меншою швидкістю та значно більшим крутним моментом.

У кінематичному ланцюзі механізму черв'як може виконувати роль ведучого або веденого елемента, забезпечуючи:

- зниження частоти обертання;
- збільшення крутного моменту;
- плавність і безшумність роботи.

У силовому ланцюзі через черв'як передаються значні контактні та згинальні навантаження. Основні види напружень, що виникають у деталі, включають:

- контактні напруження в зоні зачеплення з колесом;
- згинальні напруження в тілі валу;
- крутні напруження від переданого моменту.

Посадочні циліндричні поверхні черв'яка призначені для встановлення в підшипниках, а шпонкова канавка забезпечує жорстке з'єднання з приводним валом або муфтою. Фаски та радіуси зменшують концентрацію напружень і спрощують монтаж.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.01.АСПД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Специфічною особливістю роботи черв'ячних передач є високе відносне ковзання витків черв'яка по зубах спряженого колеса. Ця кінематична особливість неминуче призводить до підвищеного тепловиділення в зоні контакту, що вимагає ретельного підходу до системи змащування (найчастіше використовується занурення черв'яка в масляну ванну картера).

Крім того, в силовому контурі обертальний момент на ведучому валу трансформується в потужне осьове зусилля. Дана осьова сила прагне зсунути вал уздовж його осі, тому посадочні шийки вала мають бути розраховані на встановлення радіально-упорних або конічних роликотідишипників, здатних жорстко фіксувати деталь і сприймати ці комбіновані навантаження. Зазначений у розрахунках правий напрямок лінії витка визначає вектор цього осьового зміщення при заданому напрямку обертання привода.

1.3 Розрахунок параметрів точності шпонкового з'єднання

Було проведено розрахунок параметрів точності шпонкового з'єднання $\varnothing 75-20 \times 12-2$ у системі вал - шпонка

Вихідні дані:

- d - діаметр ступені черв'яка зі шпонковим пазом - $\varnothing 75k6$;
- B - ширина шпонкового пазу - $20N9$;
- t_1 - глибина шпонкового пазу - $7,5-7,7$ мм;
- L - довжина шпонкового пазу - 125 мм;
- h - висота шпонки - $12h11$;
- b - ширина шпонки - $20h9$;
- l - довжина шпонки - $125h14$;
- група полів допусків - друга;
- виконання шпонки – перше

Ширина паза B визначається з перерізу А-А та становить 20 мм. Діаметр ступені черв'яка під шпонкове з'єднання за кресленням дорівнює $\varnothing 75k6$. Із перерізу А-А глибина паза становить:

$$t_1 = 75 - 67,5 = 7,5 \text{ мм.}, \quad (1.1)$$

Для вала діаметром $66-75$ мм приймаємо стандартну призматичну шпонку розміром 20×12 . Тоді граничні розміри елементів з'єднання становлять:

$$B_{\max} = 20,000 \text{ мм};$$

$$B_{\min} = 19,948 \text{ мм};$$

$$TB = B_{\max} - B_{\min} = 0,052 \text{ мм} = 52 \text{ мкм.}, \quad (1.2)$$

					КНУ.КБР.131.26.1-07.01.АСПД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$b_{\max} = 20,000 \text{ мм};$$

$$b_{\min} = 19,948 \text{ мм};$$

$$Tb = b_{\max} - b_{\min} = 0,052 \text{ мм} = 52 \text{ мкм.}, \quad (1.3)$$

$$t1_{\min} = 7,5 \text{ мм};$$

$$t1_{\max} = 7,7 \text{ мм};$$

$$Tt1 = t1_{\max} - t1_{\min} = 0,2 \text{ мм} = 200 \text{ мкм.}, \quad (1.4)$$

$$h_{\max} = 12,000 \text{ мм};$$

$$h_{\min} = 11,890 \text{ мм};$$

$$Th = h_{\max} - h_{\min} = 0,110 \text{ мм} = 110 \text{ мкм.}, \quad (1.5)$$

Оскільки на кресленні довжина паза подана без окремого поля допуску, для оформлення розрахунку за структурою прикладу приймаємо:

$$L = 125H15;$$

$$l = 125h14.$$

Тоді:

$$L_{\max} = 126,614 \text{ мм};$$

$$L_{\min} = 125,000 \text{ мм};$$

$$TL = L_{\max} - L_{\min} = 1,614 \text{ мм.}, \quad (1.6)$$

$$l_{\max} = 125,000 \text{ мм};$$

$$l_{\min} = 123,991 \text{ мм};$$

$$Tl = l_{\max} - l_{\min} = 1,009 \text{ мм}, \quad (1.7)$$

Розрахуємо максимальні натяг і зазор за шириною шпонки:

$$N_{\max} = b_{\max} - B_{\min} = 20,000 - 19,948 = 0,052 \text{ мм} = 52 \text{ мкм}; \quad (1.8)$$

$$N_{\min} = b_{\min} - B_{\min} = 19,948 - 19,948 = 0 \text{ мм}; \quad (1.9)$$

$$S_{\max} = B_{\max} - b_{\min} = 20,000 - 19,948 = 0,052 \text{ мм} = 52 \text{ мкм}; \quad (1.10)$$

$$S_{\min} = B_{\max} - b_{\max} = 20,000 - 20,000 = 0 \text{ мм}, \quad (1.11)$$

За шириною шпонкове з'єднання є перехідним: можливі як мінімальний зазор, так і мінімальний натяг, а їх максимальні значення становлять 52 мкм.

Вибір перехідної посадки для даного вузла є класичним і найбільш виправданим рішенням для важконавантажених кінематичних ланцюгів. Поля допусків, що забезпечують імовірність як мінімального натягу, так і мінімального зазору, гарантують точне центрування елементів, що сполучаються.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.01.АСПД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Щільна посадка шпонки в пазу вала є критично важливою для запобігання її перекосу, викришування або зминання робочих кромek. Це особливо актуально в умовах реверсивних навантажень або під час частих пусків і зупинок привода, коли виникають пікові динамічні удари. У той же час, обмеження максимального натягу величиною 52 мкм залишає з'єднання розбірним, що є обов'язковою вимогою для проведення регламентних ремонтних робіт або заміни зношених компонентів привода без пошкодження посадочних поверхонь.

Таким чином, прийняте шпонкове з'єднання для деталі «Черв'як» відповідає геометричним параметрам креслення, забезпечує нормальне складання та є придатним для передавання крутного моменту від привідного елемента до черв'яка.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.01.АСПД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів заміни

Черв'як є відповідальною деталлю черв'ячної передачі та призначений для передавання обертального руху і крутного моменту черв'ячному колесу із забезпеченням необхідного передаточного відношення. Деталь працює в умовах значних контактних, згинальних і крутних навантажень, а також інтенсивного тертя ковзання, що висуває підвищені вимоги до міцності, жорсткості, точності та зносостійкості її робочих поверхонь. З урахуванням умов експлуатації та вимог до надійності, згідно з кресленням деталей виготовляється зі сталі 50 ДСТУ 7809:2015, яка належить до якісних вуглецевих конструкційних сталей і широко застосовується для деталей машин, що працюють під навантаженням. Зазначена сталь забезпечує достатню міцність, добру оброблюваність різанням і можливість отримання необхідних експлуатаційних характеристик після термічної обробки. Для забезпечення потрібних властивостей черв'як піддається термічній обробці, що дозволяє одержати твердість HB 212...248 відповідно до технічних вимог креслення. Це забезпечує необхідну зносостійкість бокових поверхонь витків, опорних шийок і посадкових ділянок, а також стабільність роботи деталі в умовах тривалої експлуатації. Крім того, кресленням передбачено підвищені вимоги до точності виготовлення, зокрема для шийок вала та поверхонь базування, що додатково підтверджує відповідальне службове призначення деталі. Хімічний склад і механічні властивості сталі 50 ДСТУ 7809:2015 наведено у таблицях 2.1 та 2.2 відповідно.

Таблиця 2.1- Хімічний склад сталі 50 ДСТУ 7809:2015

Марка матеріалу	C %	Si %	Mn %	S %	P %	Cr %
Сталь 50 ДСТУ	0,47–0,55	0,17–0,37	0,5÷0,8	0,040	0,035	до 0,25

Таблиця 2.2 - Механічні властивості сталі 50

Марка матеріалу	σ _T МПа	δ ₅ %	σ _B МПа	HB
Сталь 50 ДСТУ 7809:2015	375	14	630	207–241

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД								
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата									
Розроб.		Дужченко			Технологічна підготовка виробництва деталі				Літ.		Арк.	Аркушів	
Перевір.		Бондар											
									Кафедра ТМ гр. ПМ-22				
Н. контр.		Нечасв											
Затверд.		Рязанцев											

Таблиця 2.3 - Хімічний склад сталей 45, 50Г, 55

Марка матеріалу	C %	Si %	Mn %	S %	P %	Cr %
Сталь 45 ДСТУ 7809:2015	0,42–0,50	0,17–0,37	0,5–0,8	0,040	0,035	до 0,25
Сталь 50Г ДСТУ 7809-2015	0,48–0,56	0,17–0,37	0,70–1,00	0,035	0,030	до 0,30
Сталь 55 ДСТУ 7809:2015	0,52–0,60	0,17–0,37	0,5–0,8	0,040	0,035	до 0,25

Таблиця 2.4 - Механічні властивості сталей 45, 50Г, 55

Марка матеріалу	σ_T МПа	δ_5 %	σ_B МПа	НВ
Сталь 45 ДСТУ 7809:2015	355	16	600	197–229
Сталь 50Г ДСТУ 7809:2015	390	13	650	229–241
Сталь 55 ДСТУ 7809:2015	380	13	650	217–255

З метою забезпечення технологічної гнучкості та можливості заміни матеріалу допускається виготовлення деталі зі сталей 45, 50Г або 55 з подальшою термічною обробкою до твердості НВ 207–241, що дозволяє забезпечити необхідні показники міцності, зносостійкості та контактної витривалості черв'яка в умовах експлуатації.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

2.2 Аналіз якості поверхонь деталей

Для оцінювання якості поверхонь деталі всі її поверхні попередньо нумерують і заносять до таблиці 2.5. Для кожної поверхні також визначають кількість послідовних технологічних переходів, необхідних для досягнення заданої точності та шорсткості, після чого отримані дані вносять до таблиці 2.5. Креслення з позначенням номерів поверхонь подано на рисунку 2.1.

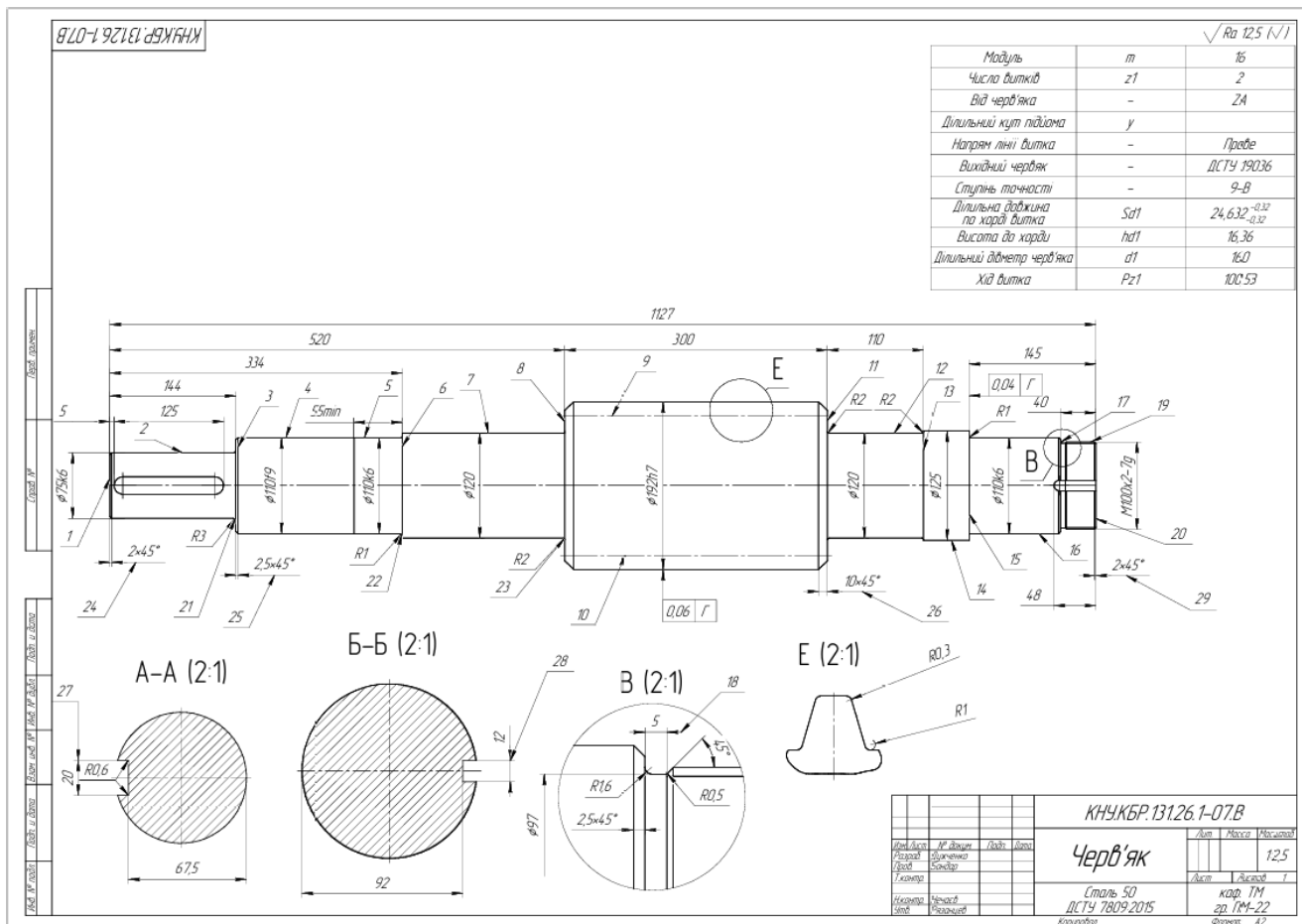


Рисунок 2.1 - Нумерація поверхонь

Таблиця 2.5 – Технологічні методи з обробки поверхонь деталі

Нзп	Розмір (мм)	Технологічні методи обробки	Допуск ІТ	Шорсткість Ra	Примітка
1	2	3	4	5	6
1,20	L 1127	Чорнове підрізання торця	h14	12,5	

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6
2	Ø75k6	Чорнове точіння, Точіння півчистове, Точіння чистове, Шліфування	h14 h11 h8 k6	12,5 6,3 3,2 1,6	
3	L 144	Чорнове підрізання торця	h14	12,5	
4	Ø110f9	Чорнове точіння, Точіння півчистове, Точіння чистове	h14 h11 f9	12,5 6,3 3,2	
5	Ø110k6	Чорнове точіння, Точіння півчистове, Точіння чистове, Шліфування	h14 h10 h7 k6	12,5 6,3 3,2 1,6	
6	L 334	Чорнове підрізання торця	h14	12,5	
7	Ø120	Чорнове точіння	h14	12,5	
8	L 520	Чорнове підрізання торця	h14	12,5	
9	Ø192h7	Чорнове точіння, Точіння півчистове, Точіння чистове	h14 h11 h7	12,5 6,3 3,2	0,06 Г

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6
10	К-сть витків: 2 Модуль: 16	Чорнове точіння	h14 h10 h9	12,5 6,3 3,2	
11	L 300	Чорнове підрізання торця	h14	12,5	
12	Ø120	Чорнове точіння	h14	12,5	
13	L 110	Чорнове підрізання торця	h14	12,5	
14	Ø125	Чорнове точіння	h14	12,5	
15	L 145	Чорнове підрізання торця	h14	12,5	0,04 Г
16	Ø110k6	Чорнове точіння, Точіння півчистове, Точіння чистове, Шліфування	h14 h10 h7 k6	12,5 6,3 3,2 1,6	
17	L 40	Чорнове підрізання торця	h14	12,5	
18	L5	Чорнове точіння	h14	12,5	
19	M100x2-7g	Чорнове точіння, Точіння півчистове, Нарізання різьби	h14 h11 7g	12,5 6,3 3,2	
21	R3	Чорнове точіння	h14	12,5	
22	R1	Чорнове точіння	h14	12,5	

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6
23	R2	Чорнове точіння	h14	12,5	
24	Фаска 2x45	Чорнове точіння	h14	12,5	
25	Фаска 2,5x45	Чорнове точіння	h14	12,5	
26	Фаска 10x45	Чорнове точіння	h14	12,5	
27	L 20	Фрезерування	h14 h10 h8	12,5 6,3 3,2	
28	L 12	Фрезерування	h14 h10 h8	12,5 6,3 3,2	
29	Фаска 2x45	Чорнове точіння	h14	12,5	

2.3 Технічний контроль робочого креслення

Робоче креслення деталі розроблено з використанням прог. комплексу SOLIDWORKS на аркуші формату А4 та включено до комплекту граф. матеріалів кваліфікаційної бакалаврської роботи. На кресленні відображено основне зображення деталі, а також необхідні додаткові види для повного розкриття її констр. особливостей. Усі розмірні параметри, вимоги до шорсткості поверхонь, допуски форми і розташування, заг. норми щодо невказаної шорсткості та тех. вимоги наведено в повному обсязі, що створює належні умови для виготовлення деталі відповідно до констр. документації та здійснення контролю її якості.

2.4 Аналіз технологічності деталі

Технологічність - це сукупність властивостей конструкції виробу, які визначають її пристосованість до виготовлення, експлуатації та ремонту з мінімальними витратами праці, матеріалу і часу

Якісна оцінка конструкції деталі „Черв’як“ виконується за такими основними показниками

- матеріал, термообробка та оброблюваність різанням
- можливість застосування раціонального способу отримання заготовки
- наявність поверхонь, зручних для базування деталі при установці на верстатах

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

- відповідність вимог до точності, шорсткості та взаємного розташування поверхонь

- доступність поверхонь деталі для обробки і контролю

Кількісний аналіз технологічності виконують за показниками, значення яких характеризують ступінь задоволення вимог до технологічності конструкції. Для деталі „Черв’як“ виконано оцінку за чотирма показниками

1) Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{в.м} = m_d / m_z; \text{ де } m_d - \text{ маса деталі, кг, } m_z - \text{ маса заготовки, кг}$$

Оскільки на кресленні маса деталі не зазначена, для розрахунку приймаємо орієнтовно $m_d \approx 118$ кг, а як заготовку - круглий прокат $\varnothing 192$ мм довжиною 1127 мм, для якого $m_z \approx 249$ кг

$$K_{в.м} = 118 / 249 = 0,47$$

Технологічно коефіцієнт використання матеріалу має прагнути до 1. Отримане значення свідчить про значний обсяг механічної обробки, тому доцільним є використання більш раціональної заготовки.

2) Коефіцієнт точності обробки

$$K_{тч} = 1 - 1 / T_{сер};$$

$$T_{сер} = (\sum T_i \cdot n_i) / \sum n_i;$$

де $T_{сер}$ - середня точність обробки, T_i - квалітет точності розміру, n_i - число розмірів відповідного квалітету точності

За кресленням приймаємо IT6 - 3 розміри, IT7 - 1 розмір, IT9 - 1 розмір, IT10 - 1 розмір, IT14 - 18 розмірів

$$T_{сер} = (6 \cdot 3 + 7 \cdot 1 + 9 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 14 \cdot 18) / 24 = 12,33$$

$$K_{тч} = 1 - 1 / 12,33 = 0,919$$

Технологічно коефіцієнт точності обробки має прагнути до 1.

3) Коефіцієнт шорсткості

$$K_{ш} = 1 / Ш_{сер};$$

$$Ш_{сер} = (\sum Ш_i \cdot n_i) / \sum n_i;$$

де $Ш_{сер}$ - середня шорсткість обробки, $Ш_i$ - параметр шорсткості оброблюваних поверхонь, n_i - число поверхонь відповідно заданій шорсткості

Для більшості поверхонь на кресленні задано загальну шорсткість Ra 12,5, тому приймаємо $Ш_{сер} = 12,5$

$$K_{ш} = 1 / 12,5 = 0,08$$

Технологічно коефіцієнт шорсткості має прагнути до 0.

4) Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів

$$K = Q_{ye} / Q_e;$$

де Q_{ye} - кількість уніфікованих типорозмірів конструктивних елементів, Q_e - кількість конструктивних елементів у деталі

Для даної деталі приймаємо $Q_{ye} = 14$, $Q_e = 18$

$$K = 14 / 18 = 0,78$$

Технологічно коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів має прагнути до 1.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

У разі отримання незадовільних оцінок окремих показників необхідно розробити конкретні пропозиції щодо підвищення технологічності конструкції деталі.

Висновок: деталь „Черв’як“ є достатньо технологічною. Найбільш раціональним шляхом підвищення технологічності є застосування заготовки, наближеної до форми готового виробу.

2.5 Вибір та економічне обґрунтування способу отримання заготовки

При виборі способу отримання заготовки для деталі «Черв’як» необхідно забезпечити задану якість поверхонь і точність базових елементів за мінімальної собівартості виготовлення. За кресленням деталь має довжину 1127 мм, найбільший діаметр черв’ячної частини $\varnothing 192\ h7$, ступінчасті шийки $\varnothing 110\ k6$, $\varnothing 110\ f9$, $\varnothing 75\ k6$ та різьбу $M100 \times 2-7g$. Як можливі варіанти отримання заготовки розглядаємо круглий прокат, поковку вільного кування та штамповану поковку.

Для попереднього відбору способу отримання заготовки складемо матрицю впливу основних факторів на собівартість і якість заготовки.

Таблиця 2.6 - Матриця впливу факторів при виборі способу отримання заготовки

Спосіб отримання заготовки	Тип вир-ва	Наближення форми	Маса заготовки	Обсяг мех. обробки	Вартість оснащення	Σ
Прокат круглий $\varnothing 192$ мм	+	-	-	-	+	2
Поковка вільного кування	+	+	+	+	0	4
Поковка штампована	-	+	+	+	-	2

За результатами матриці для подальшого техніко-економічного порівняння доцільно залишити два варіанти: круглий прокат і поковку вільного кування. Штампована поковка для даного довгомірного ступінчастого черв’яка є малоприсадоною через високу вартість спеціального оснащення.

Найбільший вплив на вибір способу отримання заготовки мають ступінчаста конфігурація вала, значна довжина заготовки, наявність черв’ячної частини великого діаметра та підвищені вимоги до точності опорних шийок. Тому раціональною є заготовка, що наближає зовнішній контур до форми готової деталі і не потребує дорогого спеціального оснащення.

У кресленні заготовки необхідно передбачити припуски на механічну обробку опорних шийок, ділянок під різьбу та черв’ячну частину, допустимі

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

відхилення форми і прямолінійності, радіуси переходів між ступенями, вимоги до стану поверхні після кування та маркування матеріалу.

Для порівняння варіантів використаємо умовний тех.-екон. розрахунок. Вартість заготовки визначаємо за формулою:

$$С_{заг} = m_3 \cdot C_m - (m_3 - m_d) \cdot C_{відх} + C_{виг}, \text{ грн},$$

де m_3 – маса заготовки, кг; m_d – маса деталі, кг; C_m – вартість 1 кг матеріалу; $C_{відх}$ – вартість 1 кг відходів; $C_{виг}$ – витрати на отримання заготовки.

Для порівняльного розрахунку приймаємо умовні показники: маса деталі $m_d = 118$ кг, вартість матеріалу $C_m = 70$ грн/кг, вартість відходів $C_{відх} = 12$ грн/кг.

Для заготовки з круглого прокату масу визначаємо за формулою циліндра:
 $m_{з1} = \rho \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot L \cdot 10^{-9}$, кг, де $\rho = 7850$ кг/м³ - густина сталі; $d = 192$ мм; $L = 1127$ мм.

$$m_{з1} = 7850 \cdot (3,14 \cdot 192^2 / 4) \cdot 1127 \cdot 10^{-9} = 256 \text{ кг}$$

$$Кв.м1 = m_d / m_{з1} = 118 / 256 = 0,46$$

Для прокату додаткові витрати на отримання заготовки приймаємо $C_{виг1} = 1500$ грн.

$$С_{заг1} = 256 \cdot 70 - (256 - 118) \cdot 12 + 1500 = 17636 \text{ грн}$$

Для заготовки у вигляді поковки вільного кування масу визначаємо як суму мас окремих ступенів заготовки з урахуванням додаткового коефіцієнта на ковальські напуски, обрізування та окалину. Орієнтовно приймаємо такі розміри ступенів заготовки: $D_1 = 85$ мм, $L_1 = 125$ мм; $D_2 = 120$ мм, $L_2 = 395$ мм; $D_3 = 205$ мм, $L_3 = 300$ мм; $D_4 = 135$ мм, $L_4 = 255$ мм; $D_5 = 110$ мм, $L_5 = 52$ мм.

$$m_{осн} = \rho \cdot (\pi / 4) \cdot 10^{-9} \cdot \sum (D_i^2 \cdot L_i), \text{ кг},$$

$$m_{осн} = 7850 \cdot (3,14 / 4) \cdot 10^{-9} \cdot (85^2 \cdot 125 + 120^2 \cdot 395 + 205^2 \cdot 300 + 135^2 \cdot 255 + 110^2 \cdot 52) = 150,9 \text{ кг}$$

З урахуванням додаткових втрат при вільному куванні приймаємо коефіцієнт $k_{дод} = 1,17$.

$$m_{з2} = m_{осн} \cdot k_{дод} = 150,9 \cdot 1,17 = 176 \text{ кг}$$

$$Кв.м2 = m_d / m_{з2} = 118 / 176 = 0,67$$

Для поковки вільного кування дод. витрати на отримання заготовки приймаємо $C_{виг2} = 4000$ грн.

$$С_{заг2} = 176 \cdot 70 - (176 - 118) \cdot 12 + 4000 = 15624 \text{ грн}$$

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 – Порівняльні техніко-економічні показники варіантів заготовки

Варіант заготовки	Маса тз, кг	Кв.м	Витрати на отримання, грн	Розрахунок вартість, грн	Висновок
Прокат круглий Ø192 мм	256	0,46	1500	17636	Базовий
Поковка вільного кування	176	0,67	4000	15624	Прийнятний

Отже, поковка вільного кування забезпечує зменшення маси заготовки, скорочення обсягу механічної обробки та підвищення коефіцієнта використання матеріалу з 0,46 до 0,67. За прийнятих умов економія становить 2012 грн на одну деталь.

Таким чином, для деталі «Черв'як» як раціональний спосіб отримання заготовки приймаємо поковку вільного кування. Цей варіант краще відповідає конструкції довгого ступінчастого вала з черв'ячною частиною та є економічно доцільнішим порівняно з використанням суцільного круглого прокату.

2.6 Вибір конструкторських, технологічних і вимірювальних баз

При виборі конструкторських, технологічних і вимірювальних баз для деталі «Черв'як» необхідно враховувати її конструктивні та експлуатаційні особливості. Деталь є довгим ступінчастим тілом обертання, має загальну довжину 1127 мм, черв'ячну робочу поверхню великого діаметра, точні посадочні шийки Ø75k6, Ø110f9, Ø110k6, зовнішню різьбу M100×2-7g, шпонковий паз та поперечний отвір. Основними вимогами до виготовлення є забезпечення співвісності посадочних поверхонь і черв'ячної частини, мінімального радіального биття робочих поверхонь, а також точності осевих розмірів.

За основну конструкторську базу доцільно прийняти спільну вісь посадочних циліндричних поверхонь деталі. Такий вибір пояснюється тим, що саме відносно цієї осі працюють опорні шийки, черв'ячна поверхня, різьбова ділянка та інші елементи деталі. Від точності взаємного розташування цих поверхонь безпосередньо залежить правильність роботи черв'ячної передачі, рівномірність контакту в зачепленні та довговічність вузла. Як допоміжну конструкторську базу доцільно прийняти базовий торець деталі, від якого задається значна частина поздовжніх розмірів.

На початкових операціях, коли чистові бази ще не сформовані, як чорнові технологічні бази доцільно використовувати зовнішні необроблені поверхні поковки та один із торців заготовки. Таке базування дає змогу виконати підрізання

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

торців, свердління центрових отворів і підготувати деталь до подальшої обробки з дотриманням принципу постійності баз.

Після підрізання торців і виконання центрових отворів основними чистовими технологічними базами доцільно прийняти центрові отвори на обох торцях деталі. Саме базування в центрах є найбільш раціональним для даної деталі, оскільки воно забезпечує обробку більшості зовнішніх циліндричних поверхонь, черв'ячної частини та різьби від єдиної осі. Це дозволяє мінімізувати похибки співвісності між окремими ступенями вала та робочою черв'ячною поверхнею.

Зважаючи на значну довжину деталі, під час токарної та шліфувальної обробки доцільно застосовувати установку в центрах з додатковою підтримкою люнетом. Таке рішення підвищує жорсткість технологічної системи, зменшує прогин деталі під дією сил різання та сприяє забезпеченню точності форми і взаємного розташування поверхонь. При чорновій обробці можливе базування по центрових отворах із підтримкою по чорнових шийках, а при чистовій та шліфувальній обробці - по центрових отворах із опорою на попередньо оброблені поверхні.

Для обробки елементів, які не є поверхнями обертання, базування необхідно здійснювати від уже сформованої осі деталі та базового торця. При фрезеруванні шпонкового паза деталь доцільно встановлювати у призми або спеціальне пристосування з орієнтацією по осі посадочної шийки та фіксацією по торцю. Це забезпечує правильне розташування паза відносно осі вала. При свердлінні поперечного отвору базування також слід виконувати від осі деталі та відповідної циліндричної поверхні, що дозволяє отримати правильне положення отвору відносно черв'ячної частини і посадочних ступенів.

Як вимірювальні бази доцільно приймати ті самі поверхні, що й конструкторські, тобто спільну вісь посадочних шийок та базовий торець. Відносно цієї осі слід контролювати діаметри точних посадок, радіальне биття, співвісність черв'ячної поверхні, правильність розташування різьби, а також інші геометричні параметри. Шпонковий паз необхідно контролювати відносно осі відповідної шийки та її діаметра, а різьбу — відносно осі деталі й торця, що визначає її осьове положення.

Отже, для деталі «Черв'як» раціонально прийняти за основну конструкторську і вимірювальну базу спільну вісь посадочних шийок, за допоміжну базу - базовий торець деталі, а за основні чистові технологічні бази - центрові отвори. Такий вибір відповідає конструкції деталі, забезпечує дотримання принципів єдності та постійності баз, зменшує похибки базування і дозволяє отримати необхідну точність обробки черв'ячної поверхні, посадочних ділянок, шпонкового паза та різьби.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.8 – Розподіл технологічних баз за операціями:

Операція	Технологічні бази
1	2
Заготівельна	необроблені зовнішні поверхні поковки
Підрізання торців, центрування	чорнові зовнішні поверхні і торець заготовки
Токарна чорнова	центрові отвори, за потреби люнет
Токарна напівчистова і чистова	центрові отвори, попередньо оброблені шийки
Фрезерування шпонкового паза	вісь деталі, базовий торець
Свердління поперечного отвору	вісь деталі, циліндрична поверхня ступені, торець
Шліфування посадочних шийок і робочих поверхонь	центрові отвори, люнет
Контроль	вісь посадочних шийок, базовий торець



Рисунок 2.2 - Розмітка і центрування отворів.

Установ А - розмітити, зацентрувати отвір (1 бік), обробити контур.

Установ Б - перевернути деталь, розмітити отвір і виконати центрування з другого боку, обробити іншу частину.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

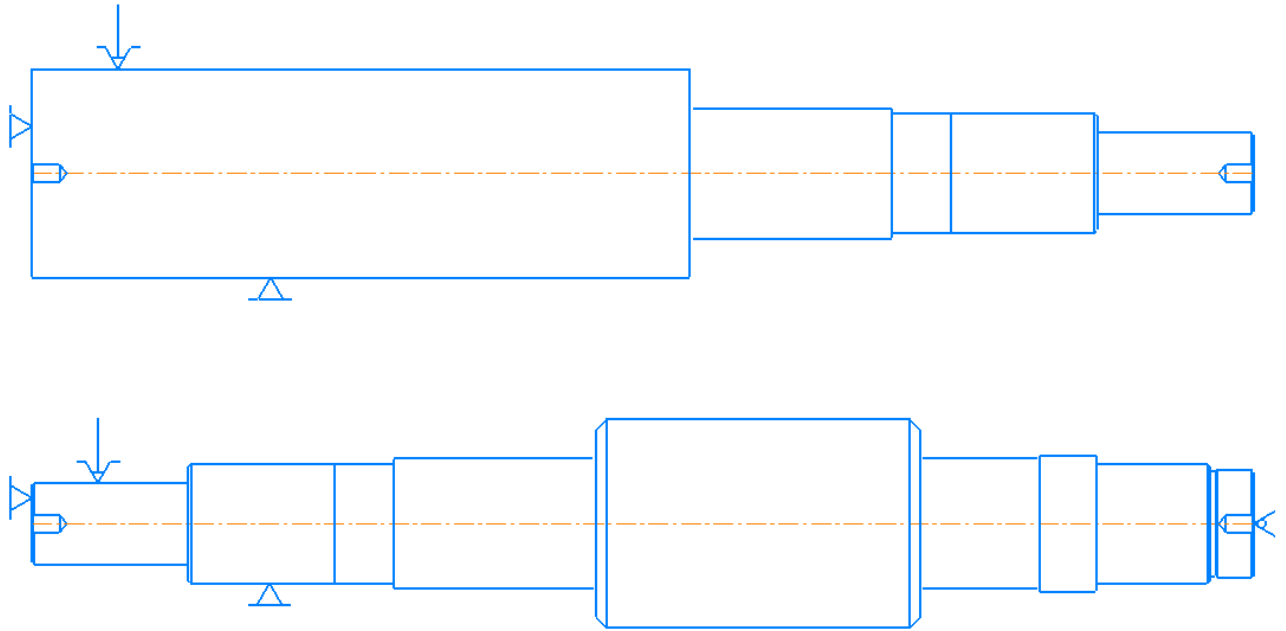


Рисунок 2.3 - Чорнове точіння.

Чорнова обробка зовнішніх циліндричних поверхонь до Ra 12,5.

Установ А - точити.

Установ Б - точити.

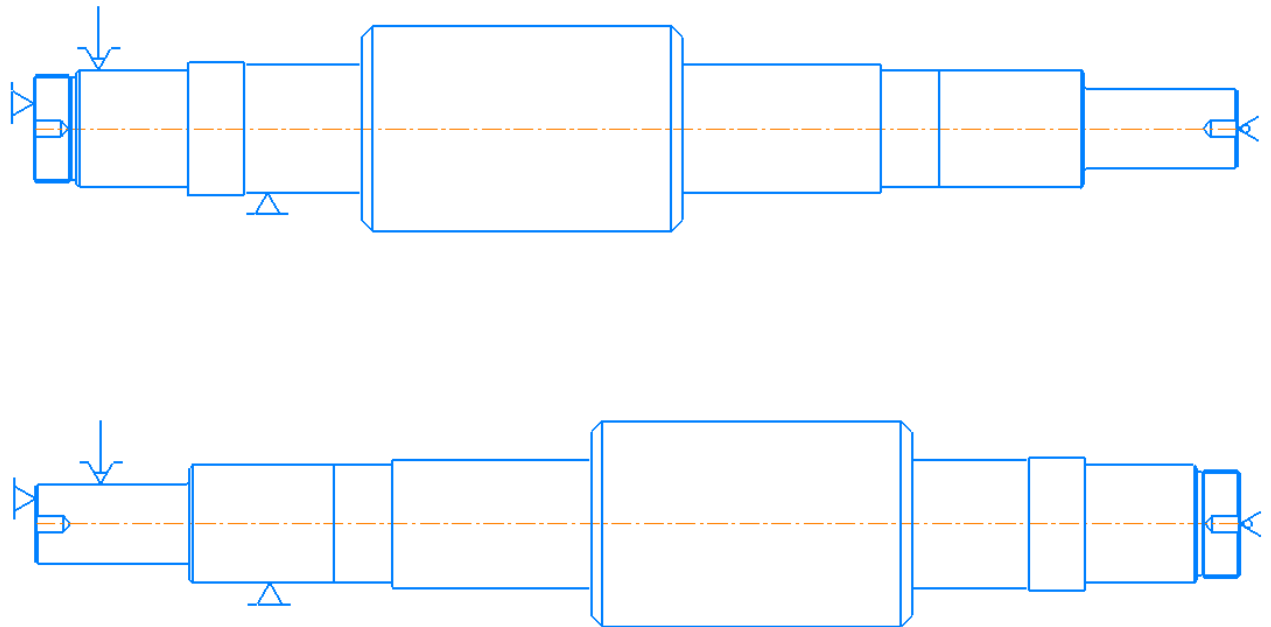


Рисунок 2.4 - Півчистове, чистове точіння, нарізування різьби

Установ А - точіння

Установ Б - точіння, нарізування різьби

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

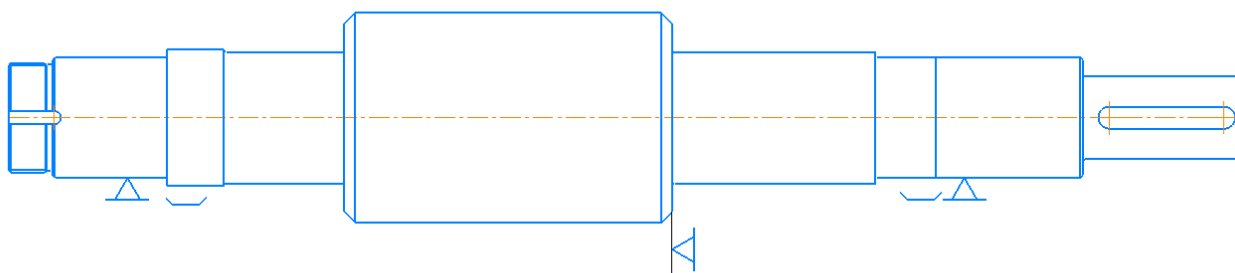


Рисунок 2.5 - Фрезерування пазів

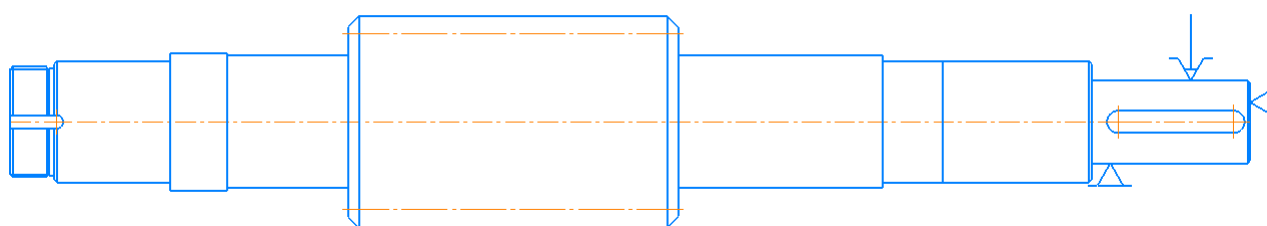


Рисунок 2.6 - Нарізування черв'яка

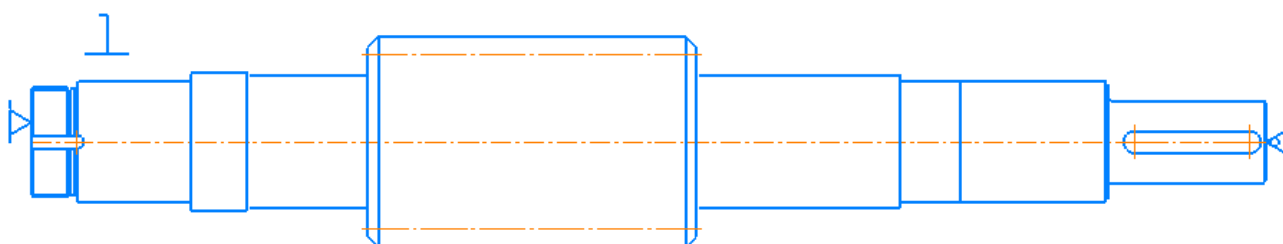


Рисунок 2.7 - Шліфування поверхонь до заданої шорсткості

2.7 Розробка маршрутно-операційної технології обробки деталі

Для обґрунтування ефективності запропонованого маршруту попередньо було проаналізовано базовий тех. процес підприємства-аналога. У базовому варіанті ток. обробка деталі «Черв'як» виконується за кілька окремих операцій на верстатах 16A20Ф3, 16K20Ф3С5 та 1В340Ф30. Такий підхід вимагає значної кількості переустановок, використання різнотипного обладнання та збільшує загальний час обробки кожної операції (до 55–65 хв). З метою оптимізації та підвищення продуктивності у даному проєкті розроблено новий маршрут на базі сучасного ток. центру Doosan PUMA GT2600M, що дозволяє об'єднати чорнові, напівчистові та чистові ток. переходи в межах одного робочого центру.

Маршрут обробки деталі формується на основі типового тех. процесу формується тех. послідовність обробки деталі «Черв'як» і заповнюється таблиця 2.8.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Розробка технологічного маршруту базується на аналізі службового призначення деталі «Черв'як», вимогах робочого креслення та обраному способі отримання заготовки - поковки вільного кування. Для виготовлення прийнято сталь 50 ДСТУ 7809:2015.

Технологічний процес побудований за принципом послідовного формування баз та обробки поверхонь від чорнових до чистових. Враховуючи значну довжину (1127 мм) та складну ступінчасту форму, основна обробка проводиться на верстатах з ЧПК.

Таблиця 2.9 – Маршрутно-операційна технологія обробки деталі «Черв'як»

№ оп.	Найменування та зміст операції	Технологічні бази	Обладнання
1	2	3	4
005	Заготівельна. Отримати поковку вільного кування, очистити від окалини, візуальний контроль.	Поверхні поковки	Ковальське обладнання
010	Токарна з ЧПК (підрізання торців, центрування). Установка в патроні. Підрізання торців у розмір L=1127, зацентрування з обох боків.	Чорнова зовн. поверхня і торець	Doosan PUMA GT2600M
015	Токарна з ЧПК (чорнова). Обробка зовн. поверхонь до Ra 12,5. Точіння ступенів Ø75, Ø110, Ø120, Ø125, Ø192.	Центрові отвори, люнет	Doosan PUMA GT2600M
020	Токарна з ЧПК (напівчистова та чистова). Точіння посадочних шийок під шліфування, нарізування різьби M100x2-7g.	Центрові отвори, оброблені шийки	Doosan PUMA GT2600M

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4
025	Токарна з ЧПК (нарізування профілю). Попереднє та чистове нарізування черв'ячного профілю модуля m=16.	Центрові отвори	Doosan PUMA GT2600M
030	Фрезерно-свердлильна. Фрезерування шпонкового паза 20N9 та свердління поперечного отвору.	Вісь деталі, базовий торець	HAAS UMC-750
035	Термічна. Загартування ТВЧ робочих поверхонь до твердості HB 212...248.	Оброблені поверхні	Установка ТВЧ
040	Круглошліфувальна. Остаточне шліфування посадочних шийок Ø75k6, Ø110f9, Ø110k6 та профілю витків.	Центрові отвори, люнет	Studer S33
045	Контрольна. Перевірка геометричних розмірів, биття, шорсткості та твердості.	Вимірювальні бази (вісь, торець)	Засоби техн. контролю

Розробка технологічних операцій

Операція 005 Заготівельна

Обладнання: Ковальське обладнання.

Вимірювальний інструмент: Рулетка, штангенциркуль ШЦ-1-250.

Технологічна база: Чорнові поверхні заготовки.

Зміст: Поковка (очищення від окалини, контроль габаритів та вигляду)

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Операція 010 Токарна ЧПК (центрування)

Обладнання: Токарний верстат з ЧПК Doosan PUMA GT2600M.

Пристосування: 3-х кулачковий патрон.

Технологічна база: Чорнова зовнішня поверхня і торець заготовки.

Зміст: Установити заготовку. Підрізати торці в розмір $L=1127$ мм, виконати центрування з обох боків заготовки.

Операція 015 Токарна ЧПК (чорнова)

Обладнання: Токарний верстат з ЧПК Doosan PUMA GT2600M.

Пристосування: Центри, люнет рухомий.

Інструмент: Різець DCLNR2020X12JETI з пластиною CNMG120408-M5 (покриття TP1501).

Технологічна база: Центрові отвори.

Зміст: Установити заготовку в центрах. Виконати чорнове точіння зовнішніх циліндричних поверхонь $\varnothing 75$, $\varnothing 110$, $\varnothing 120$, $\varnothing 125$, $\varnothing 192$ до Ra 12,5 з припуском під подальшу обробку. Виконується за 2 установи.

Операція 020 Токарна ЧПК (напівчистова та чистова)

Обладнання: Токарний верстат з ЧПК Doosan PUMA GT2600M.

Пристосування: Центри, люнет.

Інструмент: Різець DWLNR2020X06JETI, різець PSSNR2020K12, різьбонарізний різець.

Технологічна база: Центрові отвори, попередньо оброблена зовнішня поверхня.

Зміст: Установити заготовку. Проточити посадочні шийки під шліфування. Нарізати різьбу M100x2-7g. Виконується за 2 установи.

Операція 025 Токарна ЧПК (нарізування профілю)

Обладнання: Токарний верстат з ЧПК Doosan PUMA GT2600M.

Пристосування: Центри, люнет.

Технологічна база: Центрові отвори.

Зміст: Установити заготовку. Виконати попереднє та чистове точіння черв'ячного профілю модуля $m=16$.

Операція 030 Фрезерно-свердлильна

Обладнання: Вертикальний обробний центр HAAS UMC-750.

Пристосування: Призми для базування по шийках.

Інструмент: Кінцева фреза $\varnothing 20$ R217.69-1820.0-12-2AN, свердла.

Технологічна база: Вісь деталі (зовнішній діаметр) і базовий торець.

Зміст: Установити заготовку. Фрезерувати шпонковий паз 20N9 на шийці $\varnothing 75k6$. Свердлити поперечний отвір.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Операція 035 Термічна

Обладнання: Установка ТВЧ.

Технологічна база: Оброблені зовнішні поверхні.

Зміст: Виконати загартування ТВЧ робочих поверхонь черв'яка (витків) для забезпечення твердості HB 212...248.

Операція 040 Круглошліфувальна

Обладнання: Шліфувальний верстат з ЧПК Studer S33.

Пристосування: Центри, люнет.

Інструмент: Шліфувальне коло 500x40x203.2 89А.

Технологічна база: Вісь деталі (центрові отвори), попередньо оброблені циліндричні поверхні.

Зміст: Шліфувати шийки Ø75k6, Ø110f9, Ø110k6 (Ra 1,6) та витки черв'яка

Операція 045 Контрольна

Обладнання: Засоби технічного контролю (мікрометри, калібри, твердомір).

Вимірювальна база: Згідно з кресленням (спільна вісь посадочних шийок та базовий торець).

Зміст: Перевірити геометричні розміри, биття, шорсткість, твердість і взаємне розташування поверхонь.

2.8 Характеристика верстатного оснащення

З урахуванням кількості і змісту раніше передбачених технологічних методів обробки поверхонь, оберемо типи металорізального обладнання інструментів. Дані занесемо до таблиці 2.9.



Рисунок 2.8 - Токарний верстат Doosan PUMA GT2600M

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Технічні характеристики:

- Тип: токарний верстат з ЧПУ
- Конус: VDI 30 / VDI 40 (опція)
- Макс. діаметр обробки: 376 мм
- Макс. довжина обробки: 1280 мм
- Частота обертання шпинделя: до 3500 об/хв
- Потужність головного шпинделя: 22 кВт
- Діаметр прутка: 81 мм
- Кількість позицій револьверної головки: 12 (з приводним інструментом)
- Тип станини: похила, моноблокова
- Система ЧПУ: FANUC 0i-TF

Всі фрезерні операції використовуємо на фрезерному верстаті — HAAS UMC-750



Рисунок 2.9 - Фрезерний верстат HAAS UMC-750

Технічні характеристики:

- Тип: вертикальний обробний центр, 5-осьовий
 - Переміщення по осях:
 - 1) X - 762 мм
 - 2) Y - 508 мм
 - 3) Z - 508 мм
 - Робота з деталями довжиною: до 1150 мм (з урахуванням повороту на осі
- В)
- Потужність шпинделя: 22.4 кВт
 - Частота обертання шпинделя: до 12 000 об/хв

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

- Конус шпинделя: CAT 40 / HSK-A63 (опціонально)
- Кількість позицій інструментального магазину: 30
- Система ЧПУ: Haas NextGen Control
- Поворотний стіл: діаметр 630 мм, поворот по осі C (360°)

Для операцій шліфування та обробки черв'ячного профіля виконуємо на шліфувальному верстаті с ЧПУ Sruder S33



Рисунок 2.10 - Шліфувальний верстат с ЧПУ Sruder S33

Технічні характеристики:

- Максимальна довжина між центрами: 1000-1600 мм (залежно від модифікації)
- Максимальний діаметр деталі: 420 мм
- Діаметр шліфувального круга: до 500 мм
- Швидкість обертання шпинделя деталі: до 1500 об/хв
- Точність позиціонування: до $\pm 0,003$ мм
- Мінімальна шорсткість поверхні (Ra): до 0,1 мкм
- Типи шліфування: зовнішнє, внутрішнє, різьбове, конусне
- Система керування: ЧПУ StuderSIM (на базі Siemens 840D)
- Привід головного шпинделя: електрошпиндель, потужність до 15 кВт
- Можливості автоматизації: встановлення пристроїв автоматичної подачі/зняття деталей, вимірювання та правки кола

Базовий технологічний процес спирається на використання класичних токарних верстатів з ЧПК. З метою економії місця та для зручності подальшого техніко-економічного порівняння варіантів обробки, основні технічні характеристики обладнання базового техпроцесу зведено до таблиці 2.10.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.10 - Характеристика обладнання базового технологічного процесу

Параметр	16A20Ф3	16K20Ф3С5	1В340Ф30
Тип верстата	Токарний з ЧПК	Токарний з ЧПК	Токарно-револьверний з ЧПК
Найбільший діаметр обробки над станиною, мм	400	400	200 (пруток до 40)
Найбільший діаметр обробки над супортом, мм	220	220	200
Найбільша довжина обробки (РМЦ), мм	1000	1000	400
Потужність головного приводу, кВт	11	11	5,5
Кількість інструментів у голівці	6 (або 8)	6 (або 8)	8
Система ЧПК (типова)	2Р22 / НЦ-31	2Р22 / НЦ-31	НЦ-31

Аналіз характеристик показує, що використання цих верстатів є менш доцільним для багатоперехідної обробки даної деталі через знижену жорсткість, обмежену кількість інструментів у револьверній голівці та меншу продуктивність у порівнянні із сучасними аналогами.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.11 - Вибір металорізальних верстатів та інструментів по обробці поверхонь деталі

№ з/п	Найменування операції	Тип верстата	Примітка
1	2	3	4
1,20	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-
2	Чорнове, півчистове, чистове точіння, шліфування	Doosan PUMA GT2600M, Studer S33	-
3	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-
4	Чорнове, півчистове, чистове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-
5	Чорнове точіння, Точіння півчистове, Точіння чистове, Шліфування	Doosan PUMA GT2600M, Studer S33	-
6	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-
7	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-
8	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-
9	Чорнове, півчистове, чистове точіння	Doosan PUMA GT2600M	0,06 Г
10	Чорнове точіння черв'ячного профілю	Doosan PUMA GT2600M, Studer S33	-
11	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-
12	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4
13	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-
14	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-
15	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	0,04 г
16	Чорнове точіння, Точіння півчистове, Точіння чистове, Шліфування	Doosan PUMA GT2600M, Studer S33	-
17	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-
18	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-
19	Чорнове, півчистове точіння, Нарізання різьби	Doosan PUMA GT2600M	-
21	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-
22	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-
23	Чорнове точіння	Doosan PUMA GT2600M	-
24	Чорнове точіння фаски 2x45	Doosan PUMA GT2600M	-
25	Чорнове точіння фаски 2,5x45	Doosan PUMA GT2600M	-
26	Чорнове точіння фаски 10x45	Doosan PUMA GT2600M	-
27	Фрезерування	HAAS UMC- 750	-

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4
28	Фрезерування	HAAS UMC-750	-
29	Чорнове точіння фаски 2х45	Doosan PUMA GT2600M	-

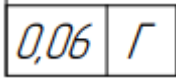
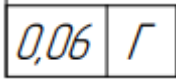
					КНУ.КБР.131.26.1-07.02.ТПВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

3. ВИБІР РІЖУЧИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ

3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі

З урахуванням кількості та характеру раніше визначених технологічних способів обробки поверхонь, обираємо сучасні види інструментів, які пропонуються вітчизняними та зарубіжними виробниками. Для кожної поверхні деталі виконуємо підбір і обґрунтування відповідного типу інструменту, а також подаємо його ескіз. Отримані дані наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вибір типів інструментів по обробці поверхонь деталі

№ з/п	Найменування операції	Тип інструмента	Примітка
1, 20, 3, 6, 8, 11, 13, 15, 17	Чорнове підрізання торця	Підрізний різець	
2, 4, 5, 7, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 19, 21, 22-26, 29	Чорнове точіння	Прохідний різець	
2, 4, 5, 9, 16, 19	Пів чистове точіння	Прохідний різець	
2, 4, 5, 9, 16	Чистове точіння	Прохідний різець	
19	Нарізування різьби	Різьбонарізний різець	
27	Фрезерування	Фреза	
28	Фрезерування	Фреза	
2, 5, 16	Шліфування	Шліфувальне коло	

3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів

З урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу деталі, виду обробки і використаних металорізальних верстатів для прийнятих типів металорізальних інструментів, призначаємо матеріал різальної частини, геометричні параметри, матеріал державки (корпусу, хвостовика) інструменту, які виготовлені вітчизняними та іноземними виробниками. Дані занесено в таблицю 3.2.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.03.ВРДІ			
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розроб.	Дужченко				Вибір ріжучих та допоміжних інструментів	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Бондар							
						Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Н. контр.	Нечасв							
Затверд.	Рязанцев							

1) Позиції 1, 20, 3, 6, 8, 11, 13, 15, 17 – Чорнове підрізання торця

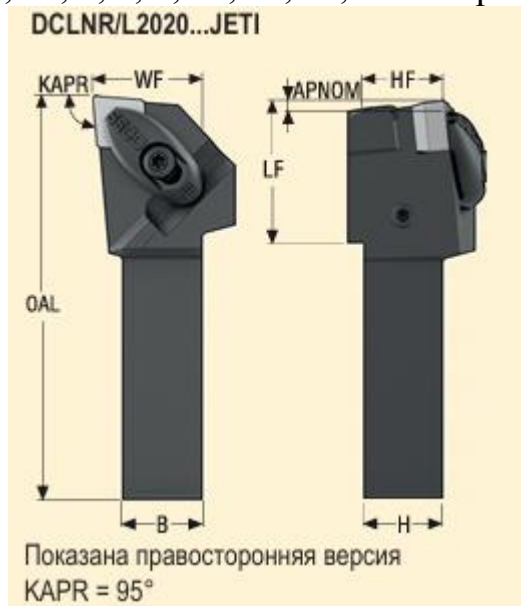


Рисунок 3.1 – Державка DCLNR2020X12JETI [1 - с. 207]

Геометричні параметри: H=20мм; B=20мм; OAL=100мм; LF=36мм; WF=27,2мм; HF=20мм;

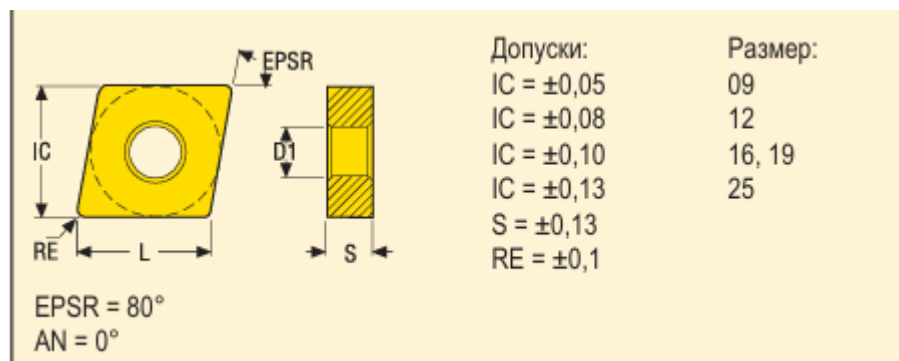


Рисунок 3.2 – Пластина CNMG120408-M5, покриття TP1501 [1 - с. 428]

Геометричні параметри: IC=12,7мм; L=12,9мм; S=4,76мм; D1=5,15мм;

					КНУ.КБР.131.26.1-07.03.ВРДІ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

2) Позиції 2, 4, 5, 7, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29– Чорнове точіння

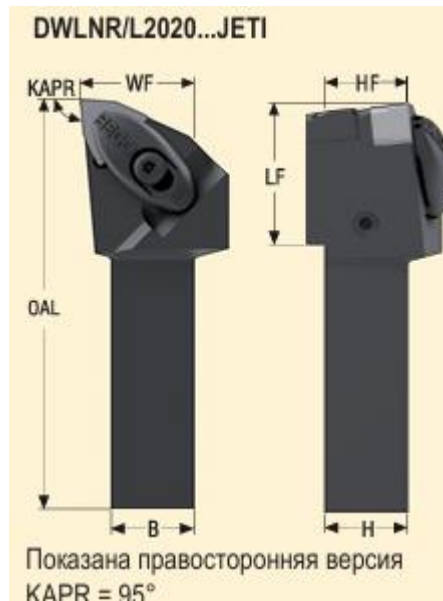


Рисунок 3.3 – Державка DWLNR2020X06JETI [1 – с. 214]

Геометричні параметри: H=20мм; B=20мм; OAL=95мм; LF=31мм; WF=27,2мм; HF=20мм;

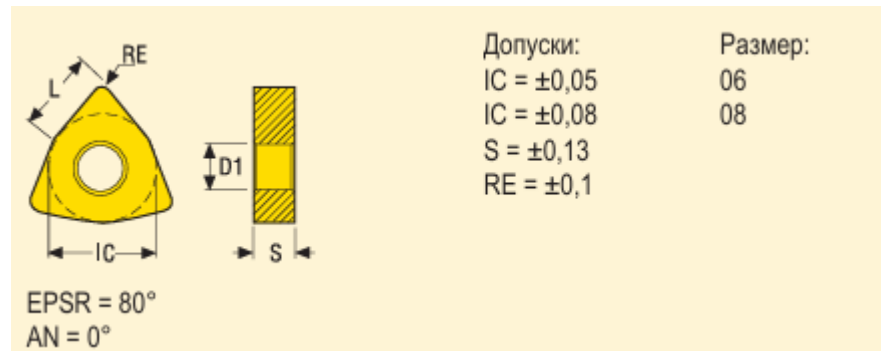


Рисунок 3.4 – Пластина WNMG060408-M5, покриття TP1501 [1 - с. 481]

Геометричні параметри: IC=9,53мм; L=6,5мм; S=4,76мм; D1=3,81мм

					КНУ.КБР.131.26.1-07.03.ВРДІ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

3) Позиції 2, 4, 5, 9, 16, 19 – Пів чистове точіння

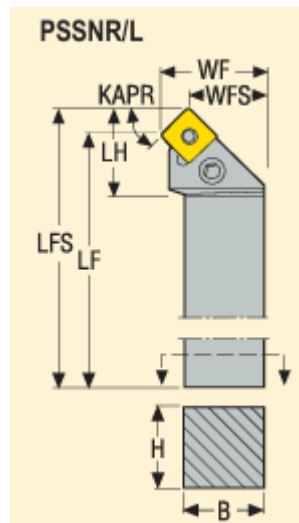


Рисунок 3.5 – Державка PSSNR2020K12 [1 - с. 249]

Геометричні параметри: $H=20\text{мм}$; $B=20\text{мм}$; $LF=31\text{мм}$; $LFS=133,3\text{мм}$; $WF=25\text{мм}$; $WFS=16,7\text{мм}$; $LH=28\text{мм}$;

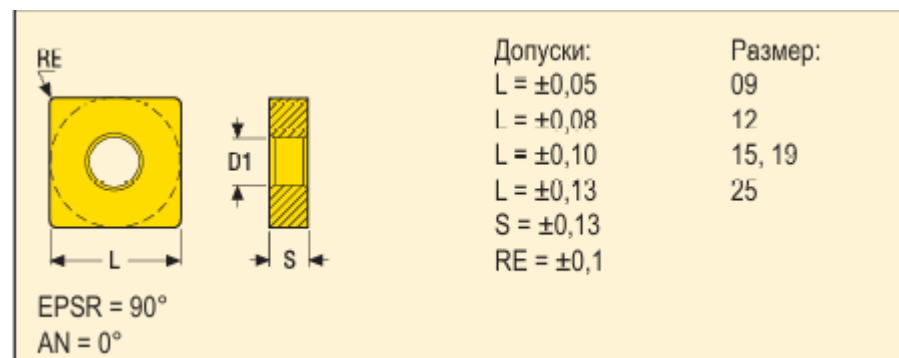


Рисунок 3.6 – Пластина SNMG120412-M5, покриття TP2501 [1 - с. 451]

Геометричні параметри: $L=12,7\text{мм}$; $S=4,76\text{мм}$; $D1=5,15\text{мм}$;

4) Позиції 2, 4, 5, 9, 16 – чистове точіння

Державка - PSSNR2020K12 (Рис. 2.5)

Пластина - SNMG120412-MF2, покриття TP2501 (Рис. 3.6)

					КНУ.КБР.131.26.1-07.03.ВРДІ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

5) Позиції 19 – нарізування різьби

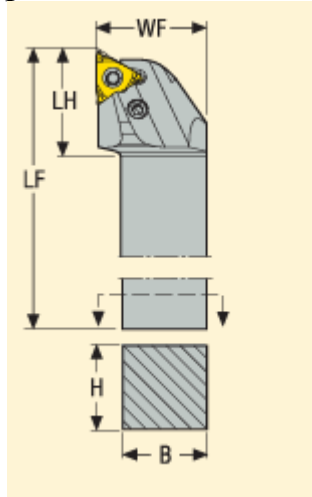


Рисунок 3.7 – Державка PER2020X16QHDJETI [с. 44]

Геометричні параметри: $H=20\text{мм}$; $B=20\text{мм}$; $LF=91\text{мм}$; $WF=25\text{мм}$; $LH=30\text{мм}$;

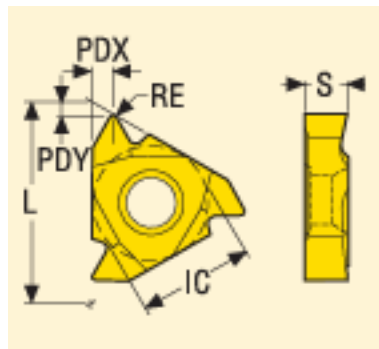


Рисунок 3.8 – Пластина 16ERA55, покриття CP500 [1 - с. 91]

Геометричні параметри: Крок-0,5-3,0, Витків-48-8, $PDY=1,1\text{мм}$, $PDX=1,5\text{мм}$, $RE=0,08$

6) Позиція 27 – фрезерування

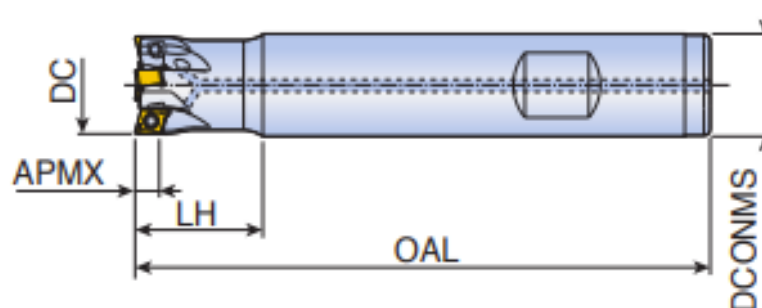
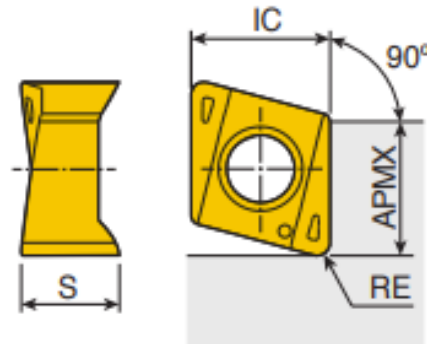


Рисунок 3.9 – Фреза 4N TE90-212-12-04

					КНУ.КБР.131.26.1-07.03.ВРДІ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Геометричні параметри: DC=12мм; DCONMS=12мм; OAL=80мм; LH=18мм; APMX=3,5мм;



4NKT M/ML

Рисунок 3.10 – Пластина - 4NKT040204R-M

Геометричні параметри: IC=4мм; S=3,1мм; RE=0,2; APMX=3,5; покриття TT8080

7) Позиція 28 - фрезерування

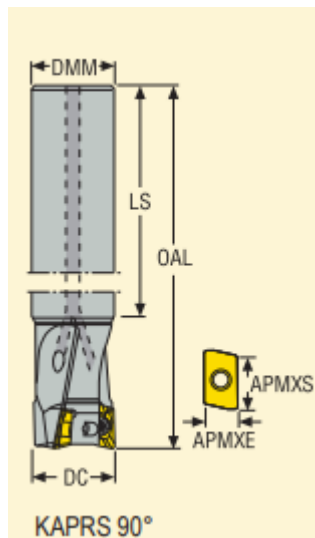


Рисунок 3.11 – Фреза R217.69-1820.0-12-2AN [2 - с. 33]

Геометричні параметри: APMXE=7мм; APMXS=11мм; DC=20мм; DMM=18мм; OAL=150мм; LS=120мм.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.03.ВРДІ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		



Рисунок 3.12 – Пластина - ХОЕХ120416R-M07 [2 - с. 663]

Параметри пластини - $W1=8,2\text{мм}$; $S=5,03\text{мм}$; $LE=12\text{мм}$; $BS=1,2\text{мм}$; покриття MP3000

8) Позиції 2, 5, 16, - Шліфування

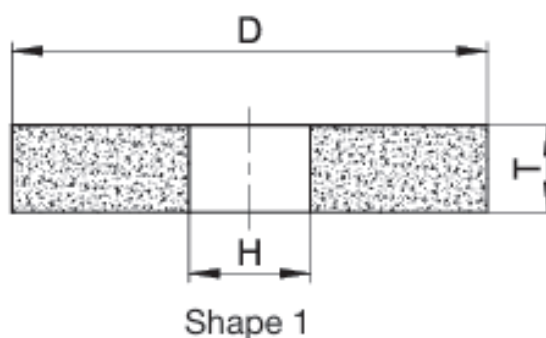


Рисунок 3.13 – Шліфувальне коло 500x40x203.2 89A 802 J5A V217 50

Геометричні параметри: 500 – зовнішній діаметр, мм; 40 – товщина круга, мм; 203.2 – посадковий отвір, мм; 89A – білий електрокорунд; 802 – зернистість FERA 80; J - м'яка твердість; 5 - середня пористість; A - керамічна зв'язка; V217 - тип керамічної зв'язки; 50 – робоча швидкість, м/с.

Таблиця 3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів

№ з/п поверхні	Тип інструменту і пластини	Основні розміри інструменту, пластини	Матеріал різальної частини інструменту	Шифр інструменту (державки, пластини) за міжнародними стандартами
1	2	3	4	5

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
1, 20, 3, 6, 8, 11, 13, 15, 17	Прохідний різець	TP1501	Сталь 40	H=20мм; B=20мм
2, 4, 5, 7, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 19, 21-26, 29	Прохідний різець	TP1501	Сталь 40	H=20мм; B=20мм
2, 4, 5, 9, 16, 19	Прохідний різець	TP2501	Сталь 40	H=20мм; B=20мм
2, 4, 5, 9, 16	Різьбонарізний різець	TP2501	Сталь 40	H=20мм; B=20мм
19	Фреза	CP500	Сталь 40	H=20мм; B=20мм
27	Фреза	TT8080	Сталь 40	DC=12мм
28	Шліфувальне коло	MP3000	Сталь 40	DC=20мм
2, 5, 16	Шліфування	89A	Сталь 40	500 – зовн. діаметр, мм; 40 – товщина круга, мм; 203.2 – посад. отвір, мм

					КНУ.КБР.131.26.1-07.03.ВРДІ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

3.3 Вибір типорозміру різальних інструментів

З урахуванням виду обробки, типу інструмента, параметрів різальної частини та габаритів, визначених за умовою міцності, призначаються типорозміри металорізальних інструментів, виготовлених вітчизняними та іноземними виробниками. Наводимо ескіз обраного ріжучого інструмента відповідно до оброблюваної поверхні. Дані внесено до таблиці 2.3.

Таблиця 3.3 – Вибір типорозміру різальних інструментів

№ з/п поверхні	Тип інструменту	Матеріал різальної частини інструменту	Матеріал державки інструменту	Геометричні параметри різальної частини інструмента
1	2	3	4	5
1, 20, 3, 6, 8, 11, 13, 15, 17	Прохідний різець	Державка Геометричні параметри: H=20мм; B=20мм; OAL=100мм; LF=36мм; WF=27,2мм; HF=20мм; Пластина Геометричні параметри: IC=12,7мм; L=12,9мм; S=4,76мм; D1=5,15мм;	Покриття TP1501	Державка DCLNR2020 X12JETI Пластина CNMG1204 08-M5
2, 4, 5, 7, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 19, 21-26,29	Прохідний різець	Державка Геометричні параметри: H=20мм; B=20мм; OAL=95мм; LF=31мм; WF=27,2мм; HF=20мм Пластина Геометричні параметри: IC=9,53мм; L=6,5мм; S=4,76мм; D1=3,81мм;	Покриття TP1501	Державка DWLNR202 0X06JETI Пластина WNMG0604 08-M5

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
2, 4, 5, 9, 16, 19	Прохідний різець	Державка H=20мм; B=20мм; LF=31мм; LFS=133,3мм; WF=25мм; WFS=16,7мм; LH=28мм; Пластина Геом параметри: L=12,7мм; S=4,76мм; D1=5,15мм;	Покриття TP2501	Державка PSSNR2020 K12 Пластина SNMG12041 2-M5
2, 4, 5, 9, 16	Різьбонарізн ий різець	Державка Геометричні параметри: H=20мм; B=20мм; LF=31мм; LFS=133,3мм; WF=25мм; WFS=16,7мм; LH=28мм; Пластина Геометричні параметри: L=12,7мм; S=4,76мм; D1=5,15мм;	Покриття TP2501	Державка PSSNR2020 K12 Пластина SNMG12041 2-M5
19	Фреза	Державка Геометричні параметри: H=20мм; B=20мм; LF=91мм; WF=25мм; LH=30мм; Геометричні параметри: Крок-0,5-3,0, Витків-48-8, PDY-1,1мм, PDX=1,5мм, RE=0,08 Пластина Геометричні параметри: Крок-0,5-3,0, Витків-48-8, PDY-1,1мм, PDX=1,5мм, RE=0,08	Покриття CP500	Державка PER2020X1 6QHDJETI Пластина 16ERA55
27	Фреза	Фреза Геометричні параметри: DC=12мм; DCONMS=12мм; OAL=80мм; LH=18мм; APMX=3,5мм; Пластина Геометричні параметри: IC=4мм; S=3,1мм; RE=0,2; APMX=3,5;	Покриття TT8080	Фреза 4N TE90-212- 12-04 Пластина 4NKT04020 4R-M

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
28	Шліфувальне коло	Фреза Геометричні параметри: APMXE=7мм; APMXS=11мм; DC=20мм; DMM=18мм; OAL=150мм; LS=120мм. Пластина Параметри пластини - W1=8,2мм; S=5,03мм; LE=12мм; BS=1,2мм;	Покриття MP3000	Фреза R217.69- 1820.0-12- 2AN Пластина - XOEX12041 6R-M07
2, 5, 16	Шліфування	Шліфувальне коло Геометричні параметри: 500 – зовнішній діаметр, мм; 40 – товщина круга, мм; 203.2 – посадковий отвір, мм; 802 – зернистість FEPA 80; J – м'яка твердість; 5 – середня пористість; A – керамічна зв'язка; V217 – тип керамічної зв'язки; 50 – робоча швидкість, м/с.	89A – білий електрокорунд;	Шліфувальне коло 500x40x203. 2 89A 802 J5A V217 50

3.4 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту

Для одного з обраних типів інструментів визначено найбільш навантажені умови роботи, а саме — чорнову обробку, яка супроводжується значними навантаженнями на ріжучу частину. З урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки, технічних характеристик верстата та заданих режимів різання виконано розрахунок сил різання. Для підвищення точності та ефективності обчислень доцільно використовувати автоматизовані засоби розрахунку режимів різання. Отримані значення навантажень використано для перевірки інструмента на міцність у найскладніших умовах експлуатації.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.03.ВРДІ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Для розрахунку обираємо прохідний різець DCLNR2020X12JETI, оскільки саме він знімає найбільший припуск на механічну обробку та працює в найбільш складних умовах. Розміри різця: $H=20$ мм; $B=20$ мм; $OAL=100$ мм; $LF=36$ мм; $WF=27,2$ мм; $HF=20$ мм. Матеріал різця — сталь 40, для якої приймаємо межу міцності $\sigma_B = 570$ МПа та допустиму напругу $\sigma_{доп} = 350$ МПа. Матеріал заготовки — сталь 50 ДСТУ 1050-88 з межею міцності $\sigma_B = 375$ МПа. Для розрахунку приймаємо глибину різання $t = 3$ мм, подачу $S = 0,5$ мм/об та виліт різця $l = 50$ мм.

1. Визначаємо силу різання

$$P_z = 9,81 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p, \text{ Н} \quad (3.1)$$

де: $C_p = 300$ – коефіцієнт для чорнового точіння сталі; $K_p = 1$ – сумарний поправочний коефіцієнт; $x = 0,9$ – показник степеня при глибині різання; $y = 0,9$ – показник степеня при подачі.

$$P_z = 9,81 \cdot 300 \cdot 3^{0,9} \cdot 0,5^{0,9} \cdot 1 = 4239 \text{ Н}$$

2. Ширина і висота перетину державки $b = 20$ мм; $h = 20$ мм.

3. Перевіряємо міцність і жорсткість державки різця:

а) максимальне навантаження, допустима міцність різця:

$$P_{z\text{доп}} = b \cdot h^2 \cdot \sigma_{доп} / (6 \cdot l) = 20 \cdot 10^{-3} \cdot (20 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 350 \cdot 10^6 / (6 \cdot 50 \cdot 10^{-3}) = 9333 \text{ Н}$$

б) максимальне навантаження, допустима жорсткість різця:

$$P_{z\text{жорс}} = 3 \cdot f \cdot E \cdot J / l^3 = 3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1,333 \cdot 10^{-8} / (50 \cdot 10^{-3})^3 = 6400 \text{ Н}$$

де: $f = 0,1$ мм – допустима стріла прогину при чорновому точінні;

$E = 2 \cdot 10^{11}$ Па – модуль пружності матеріалу державки;

J – момент інерції прямокутного перетину державки:

$$J = b \cdot h^3 / 12 = 20 \cdot 20^3 / 12 = 13333 \text{ мм}^4 = 1,333 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

Перевірка різця на міцність і жорсткість:

$$P_{z\text{доп}} > P_z < P_{z\text{жорс}}$$

$$9333 > 4239 < 6400$$

Умова виконана. Різець володіє достатньою міцністю і жорсткістю.

3.5 Вибір параметрів допоміжної частини інструментів

З урахуванням параметрів оброблюваної поверхні, способу базування деталі, типу верстата й основних розмірів обраного стандартного ріжучого інструмента здійснюється підбір допоміжного інструменту з урахуванням його конструктивних характеристик.

Розробка інструментального налагодження буде проводитися на верстатах Doosan PUMA GT2600M, HAAS UMC-750 та Studer S33. Формування інструментального комплексу здійснено на основі даних таблиць 2.1, 3.3 та 3.4 відповідно до обраної технологічної операції. Усі дані зведені в таблицю 3.5.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.03.ВРДІ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 – Вибір допоміжного інструменту та параметрів інструментального налагодження

№ з/п повер хні	Металорі зальний верстат	Параметри посадочног о місця верстата під інструмент	Тип ріжучого інструменту (Шифр інструменту)	Параметри посадочного місця ріжучого інструменту	Допоміжний інструмент (Шифр інструменту) за міжнародним и стандартами
1	2	3	4	5	6
1, 20, 3, 6, 8, 11, 13, 15, 17	Doosan PUMA GT2600M	Тип – VDI30	DCLNR2020X 12JETI	H=20мм; B=20мм	ASHA-R- VDI30-20- JETI
2, 4, 5, 7, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29	Doosan PUMA GT2600M , Studer S33	Тип – VDI30	DWLNR2020 X06JETI	H=20мм; B=20мм	ASHA-R- VDI30-20- JETI
2, 4, 5, 9, 16, 19	Doosan PUMA GT2600, Studer S33	Тип – VDI30	PSSNR2020K1 2	H=20мм; B=20мм	ASHA-R- VDI30-20- JETI
2, 4, 5, 9, 16	Doosan PUMA GT2600M , Studer S33	Тип – VDI30	PSSNR2020K1 2	H=20мм; B=20мм	ASHA-R- VDI30-20- JETI
19	Doosan PUMA GT2600M	Тип – VDI30	PER2020X16Q HDJETI	H=20мм; B=20мм	ASHA-R- VDI30-20- JETI
27	HAAS UMC-750	Тип – HSK- A63	4N TE90-212- 12-04	DCONMS=12 мм	ASHA-R- VDI30-20- JETI
28	HAAS UMC-750	Тип – HSK- A63	R217.69- 1820.0-12- 2AN	DMM=18мм	ASHA-R- VDI30-20- JETI

					КНУ.КБР.131.26.1-07.03.ВРДІ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
2, 5, 16	Doosan PUMA GT2600M, Studer S33	Тип – VDI30	500x40x203.2 89A 802 J5A V217 50	500 – зовнішній діаметр, мм; 40 – товщина круга, мм; 203.2 – посадковий отвір, мм	ASHA-R-VDI30-20-JETI

1) Для всіх різців обираємо адаптер ASHA-R-VDI30-20-JETI

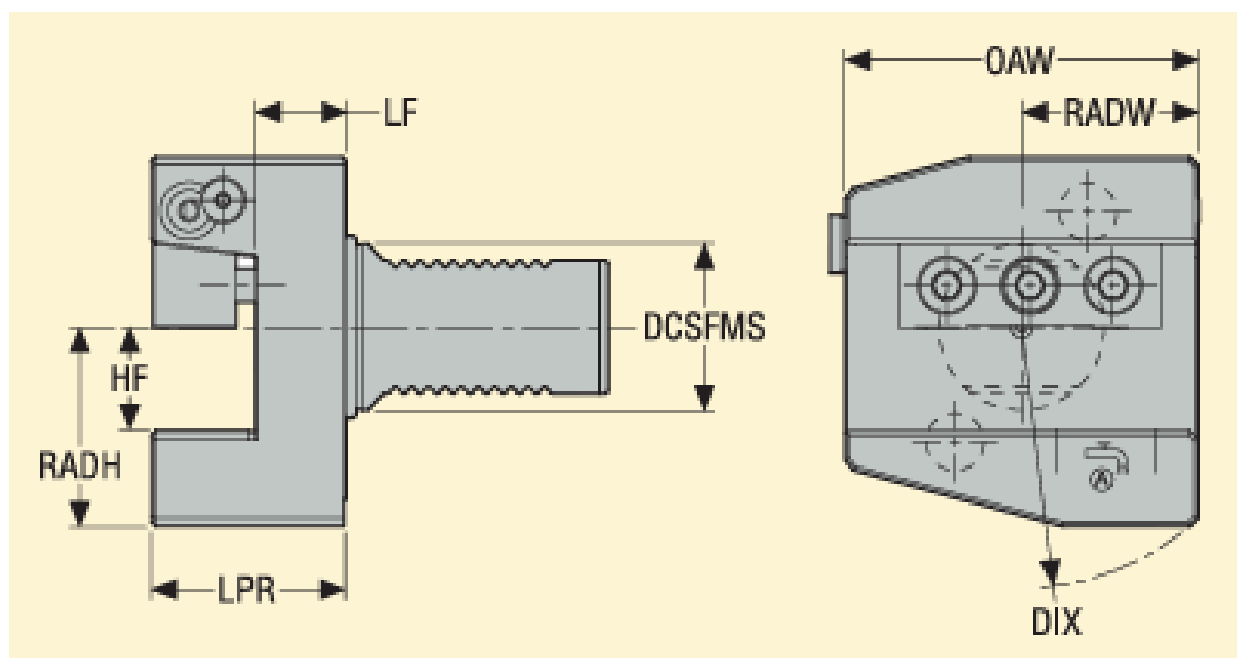


Рисунок 4.1 - ASHA-R-VDI30-20-JETI [1 - с. 407]

DCSFMS=30мм, DIX=103мм, RADW=35мм, OAW=70мм, RADH=38мм, HF=20мм, LF=22мм, LPR=42мм.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.03.ВРДІ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

2) Для фрезы D=12

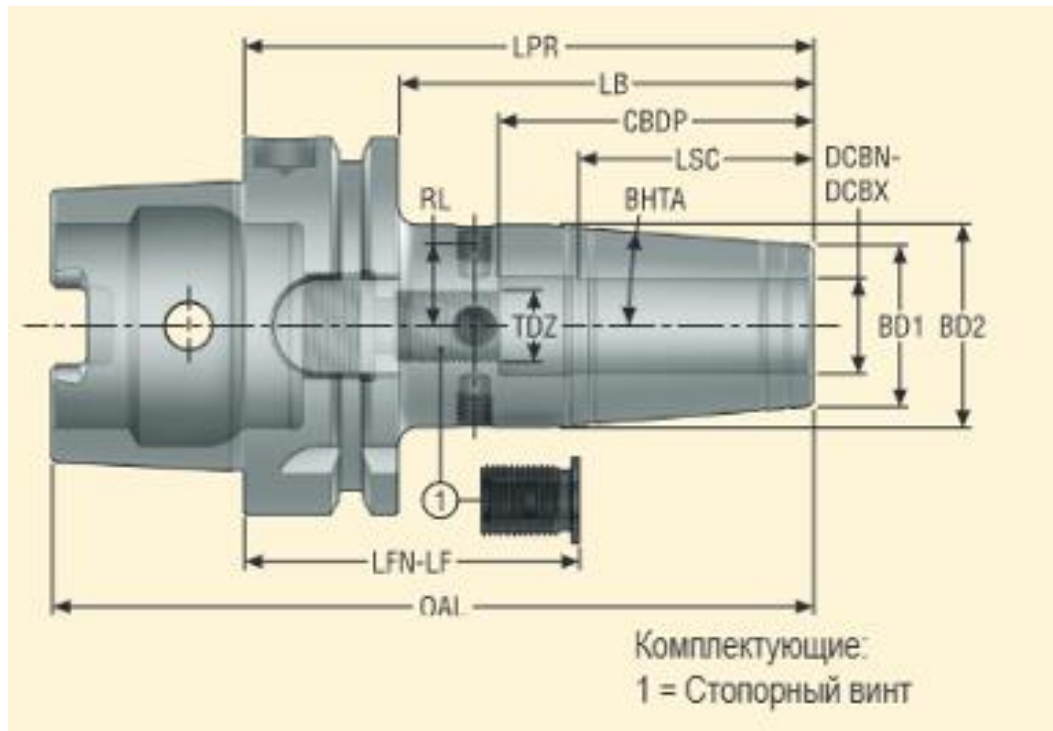


Рисунок 4.2 – Термооправка E9304540312120 [2 - с. 81]

LPR – 90,0; LB – 64,0; CBDP – 48,0; LSC – 34,0; BD2 – 32,0; BD1 – 24,0; OAL – 122,0; LFN+LF – 43,5+56,0; RL – 13,0

Для фрезы D=18

Термооправка E930454031895 [с. 81]

LPR – 95; LB – 69,0; CBDP – 53,0; LSC – 39,0; BD2 – 42,0; BD1 – 3,0; OAL – 127,0; LFN-LF – 44,5+56,0; RL – 18

					КНУ.КБР.131.26.1-07.03.ВРДІ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

4 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

4.1 Розрахунок та проєктування спеціального різального інструменту

На основі аналізу методів обробки поверхонь та вибраних типів ріжучих інструментів виконуємо розрахунок спеціального ріжучого інструменту - червячної фрези

Вихідні дані:

Матеріал заготовки: 50 ДСТУ 7809:2015

Модуль: 16

Число витків: 2

Напрямок лінії витка – праве

Хід витка: 100,53

Ступінь точності – 9-B

Висота до хорди: 16,36 мм

Ділильний діаметр черв'яка: 160 мм

Вид черв'яка: ZA

Додаткові дані:

Діаметр вершин витків черв'яка: $d_{a1} = 256$ мм

Ділильний діаметр черв'яка: $d_1 = 224$ мм

Діаметр впадин черв'яка: $d_{f1} = 185.6$ мм

Довжина нарізаної частини черв'яка: $b = 330$ мм

Тип матеріалу червячного колеса: сталь, чавун

Кут профілю: $\alpha = 20^\circ$

Коефіцієнт висоти головки витка: $ha_1' = 1$

Коефіцієнт висоти ніжки витка: $hf_1' = 1 + c^*$

Коефіцієнт розрахункової товщини витка: $s'' = 1.571$

Коефіцієнт радіального зазору у поверхні головки черв'яка: $c_1^* = 0.2$

Коефіцієнт радіального зазору у поверхні впадини черв'яка: $c_2^* = 0.2$

Коефіцієнт радіуса кривизни перехідної кривої: $\rho_{f1}' = 0.3$

					КНУ.КБР.131.26.1-07.04.ПІАР			
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розроб.	Дужченко				Проектування та аналіз різального інструмента	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Бондар							
Н. контр.	Нечасів					Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Затверд.	Рязанцев							

Розрахунок:

1. Розрахунковий зовнішній діаметр черв'ячної фрези:

$$De = d_1 + 2(1,3 \cdot m) = 224 + 2(1,3 \cdot 16) = 265,6 \text{ мм}, \quad (4.1)$$

де: De - розрахунковий зовнішній діаметр черв'ячної фрези; d_1 - ділительний діаметр черв'яка; m - модуль.

$$Re = \frac{De}{2} = \frac{265,6}{2} = 132,8 \text{ мм}, \quad (4.2)$$

де: Re - радіус розрахункового зовнішнього діаметра черв'ячної фрези; De - розрахунковий зовнішній діаметр черв'ячної фрези.

2. Внутрішній розрахунковий діаметр фрези (по впадинах канавок):

$$df_0 = De - 2 \cdot H_k = 265,6 - 2 \cdot 42 = 181,6 \text{ мм}, \quad (4.3)$$

де: df_0 - внутрішній розрахунковий діаметр фрези (по впадинах канавок); De - розрахунковий зовнішній діаметр черв'ячної фрези; H_k - висота стружкової канавки.

3. Розрахункова товщина зуба фрези по ділительному циліндру:

$$s_0 = (\pi \cdot m) / 2 = (3,1416 \cdot 16) / 2 = 25,13 \text{ мм}, \quad (4.4)$$

де: s_0 - розрахункова товщина зуба фрези по ділительному циліндру; m - модуль.

4. Радіус початкового кола:

$$R_{\text{поч}} = d_1 / 2 = 224 / 2 = 112 \text{ мм} \quad (4.5)$$

де: $R_{\text{поч}}$ - радіус початкового кола; d_1 - ділительний діаметр черв'яка.

5. Кут підйому витка черв'яка:

$$\text{tg } \gamma = (z_1 \cdot m) / d_1 = (2 \cdot 16) / 224 = 0,1428 \quad (4.6)$$

де: γ - кут підйому витка черв'яка; z_1 - число витків; m - модуль; d_1 - ділительний діаметр черв'яка.

звідки маємо $\gamma = 8^\circ 7' 48''$.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.04.ПАР	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

6. Висота головки зуба фрези:

$$ha0 = 1,2 \cdot m = 1,2 \cdot 16 = 19,2 \text{ мм}, \quad (4.7)$$

де: $ha0$ - висота головки зуба фрези;

7. Висота ніжки зуба фрези:

$$hf0 = 1,3 \cdot m = 1,3 \cdot 16 = 20,8 \text{ мм}, \quad (4.8)$$

де: $hf0$ - висота ніжки зуба фрези;

8. Радіус заокруглення вершини зуба фрези:

$$\rho a0 = 0,2 \cdot m = 0,2 \cdot 16 = 3,2 \text{ мм}, \quad (4.9)$$

де: $\rho a0$ - радіус заокруглення вершини зуба фрези;

9. Радіус заокруглення впадини фрези:

$$\rho f0 = 0,3 \cdot m = 0,3 \cdot 16 = 4,8 \text{ мм}, \quad (4.10)$$

де: $\rho f0$ - радіус заокруглення впадини фрези;

10. Крок витків зубців по нормалі (нормальний крок):

$$tn = \pi \cdot m \cdot \cos \gamma = 3,1416 \cdot 16 \cdot \cos 8^\circ 7' 48'' = 49,76 \text{ мм} \quad (4.11)$$

де: tn - крок витків зубців по нормалі (нормальний крок);

11. Товщина зуба фрези за початковою прямою:

$$bn = s^0 \cdot \cos \gamma = 25,13 \cdot 0,989 = 24,85 \text{ мм}, \quad (4.12)$$

де: bn - товщина зуба фрези за початковою прямою;

12. Висота профілю зуба фрези:

$$h^0 = ha0 + hf0 = 19,2 + 20,8 = 40 \text{ мм}, \quad (4.13)$$

де: h^0 - висота профілю зуба фрези;

13. Кількість зубців фрези:

$$z^0 = 10, \quad (4.14)$$

					КНУ.КБР.131.26.1-07.04.ПАР	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Приймаємо парну кількість зубців $z_0 = 10$.

14.Радіус заокруглення канавки:

$$r_k = 2 \text{ мм}, \quad (4.15)$$

15.Задній кут на вершині зуба для черв'ячного інструмента приймають у межах $9 \dots 11^\circ$. Приймаємо $\alpha_B = 10^\circ$.

16.Величина затилування шліфованої частини зуба:

$$K = (\pi \cdot De / z_0) \cdot \operatorname{tg} \alpha_B = (3,14 \cdot 265,6 / 10) \cdot \operatorname{tg} 10^\circ = 14,71 \text{ мм} \quad (4.16),$$

де: K - величина затилування шліфованої частини зуба; De - розрахунковий зовнішній діаметр черв'ячної фрези; z_0 - кількість зубців фрези; α_B - задній кут на вершині зуба.

Отриманий результат необхідно округлити. Приймаємо $K = 15 \text{ мм}$.

17.Величина другого затилування:

$$K^1 = (1,15 \dots 1,35)K = 1,25 \cdot K = 1,25 \cdot 15 = 18,75 \text{ мм}, \quad (4.17)$$

де: K_1 - величина другого затилування;

Приймаємо $K_1 = 19 \text{ мм}$.

18.Висота стружкової канавки:

$$H_k = h^0 + r_k = 40 + 2 = 42 \text{ мм}, \quad (4.18)$$

де: H_k - висота стружкової канавки; r_k - радіус заокруглення канавки.

19.Кут нахилу стружкових канавок:

$$\sin \omega = (z_0 \cdot m) / De = (10 \cdot 16) / 265,6 = 0,6024 \quad (4.19)$$

де: ω - кут нахилу стружкових канавок;

$$\omega = 37^\circ 2' 35''$$

20.Крок гвинтової стружкової канавки:

$$S_k = (\pi \cdot De) / \operatorname{tg} \omega = (3,14 \cdot 265,6) / \operatorname{tg} 37^\circ 2' 35'' = 1106 \text{ мм}, \quad (4.20)$$

де: S_k - крок гвинтової стружкової канавки;

					КНУ.КБР.131.26.1-07.04.ПАР	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

21.Крок витків по осі інструмента:

$$t_{oc} = \pi \cdot m = 3,1416 \cdot 16 = 50,265 \text{ мм}, \quad (4.21)$$

де: t_{oc} - крок витків по осі інструмента;

22.Довжина робочої частини фрези:

$$L \approx 7,5 \cdot t_{oc} \approx 7,5 \cdot 50,265 \approx 376,9 \text{ мм}, \quad (4.22)$$

де: L - довжина робочої частини фрези;

Приймаємо загальну довжину фрези $L = 380 \text{ мм}$.

23.Швидкість різання фрези:

$$v = (C_v \cdot D e^q) / (T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p) \cdot K_v = (443 \cdot 265,6^{0,17}) / (120^{0,33} \cdot 5^{0,38} \cdot 0,13^{0,28} \cdot 16^{0,05} \cdot 10^{0,1}) \cdot 0,645 = 26,4 \text{ м/хв}, \quad (4.23),$$

де: v - швидкість різання фрези;

C_v - постійний коефіцієнт, що залежить від умов обробки;

T - розрахунковий період стійкості інструменту;

t - видима чи розрахункова глибина різання;

S_z - подача на зуб;

B - ширина фрезерування;

z - кількість зубців фрези;

K_v - загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання;

q, m, x, y, u, p - показники степеня для відповідних параметрів різання.

24.Поправочні коефіцієнти:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv}, \quad (4.24)$$

де: K_v - загальний поправочний коефіцієнт; K_{mv} - коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу; K_{pv} - коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки; K_{iv} - коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту.

$$K_v = 0,645 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,645$$

					КНУ.КБР.131.26.1-07.04.ПАР	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

25. Частота обертів фрези:

$$n = (1000 \cdot v) / (\pi \cdot De) = (1000 \cdot 26,4) / (3,14 \cdot 265,6) = 31,6 \text{ об/хв}, (4.25)$$

де: n - частота обертів фрези;

26. Сила різання:

$$P_z = (10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B \cdot z_0) / (De^q \cdot n^w) \cdot K_{mp} = (10 \cdot 101 \cdot 5^{0,88} \cdot 0,13^{0,75} \cdot 16 \cdot 10) / (265,6^{0,87} \cdot 31,6^0) \cdot 1,08 = 650 \text{ Н} (4.26),$$

де: P_z - головна складова сили різання; C_p - постійний коефіцієнт сили різання;

27. Крутний момент:

$$M_{кр} = (P_z \cdot De) / 2000 = (650 \cdot 265,6) / 2000 = 86,3 \text{ Н} \cdot \text{м}, (4.27)$$

де: $M_{кр}$ - крутний момент;

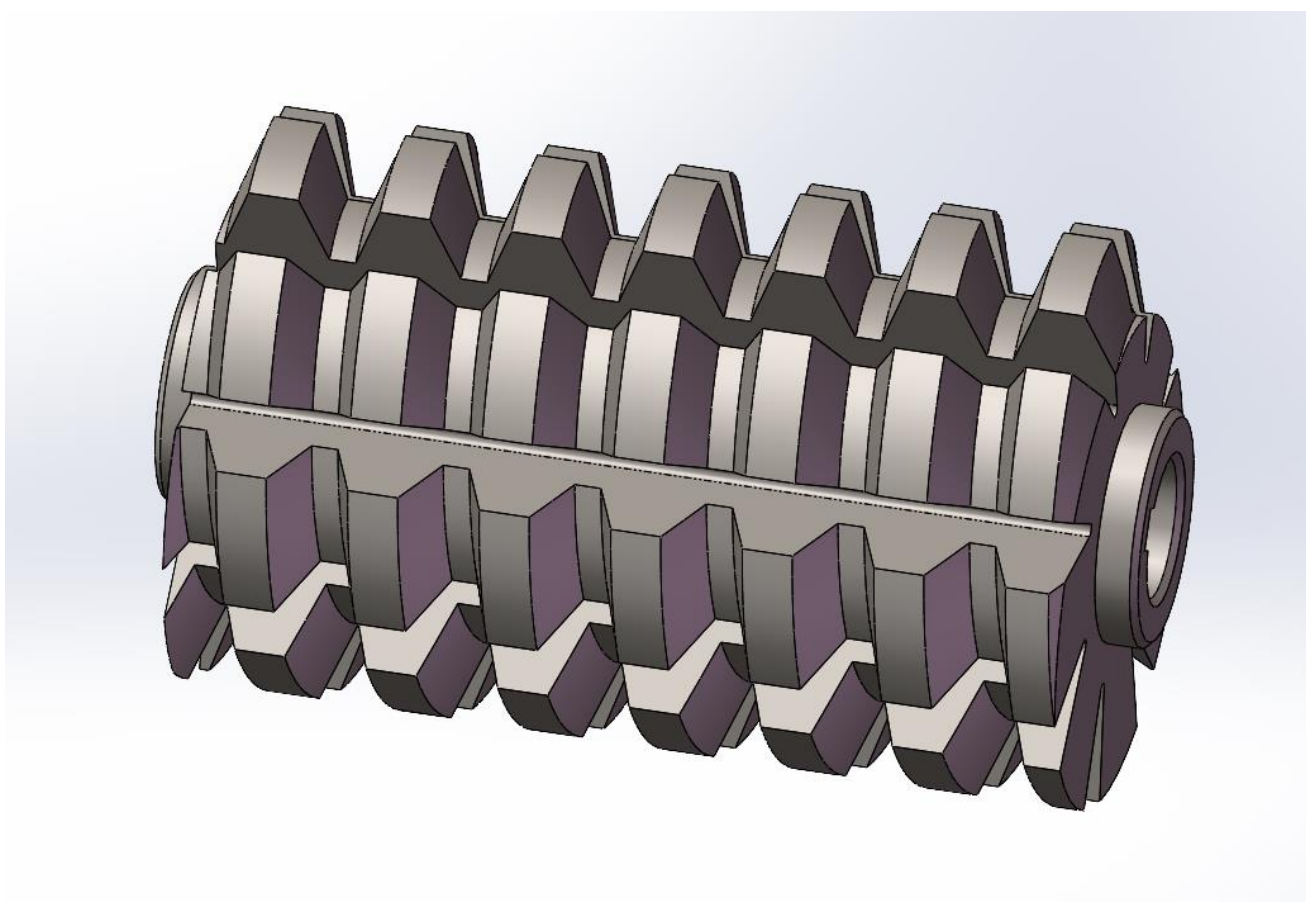


Рисунок 4.3 - 3Д модель черв'ячної фрези

					КНУ.КБР.131.26.1-07.04.ПАР	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

4.2. Інженерний аналіз спеціального різального інструменту

Метою інженерного аналізу є випробовування різального інструменту в умовах обробки різанням для визначення працездатності інструменту, його запасу міцності та впливу сил різання на інструмент. Розрахунки проводимо в програмному середовищі SOLIDWORKS Simulation. В першу чергу створено сітку моделі з досяганням збіжності сітки та згенеровано епюру якості сітки за точками Якобіана.

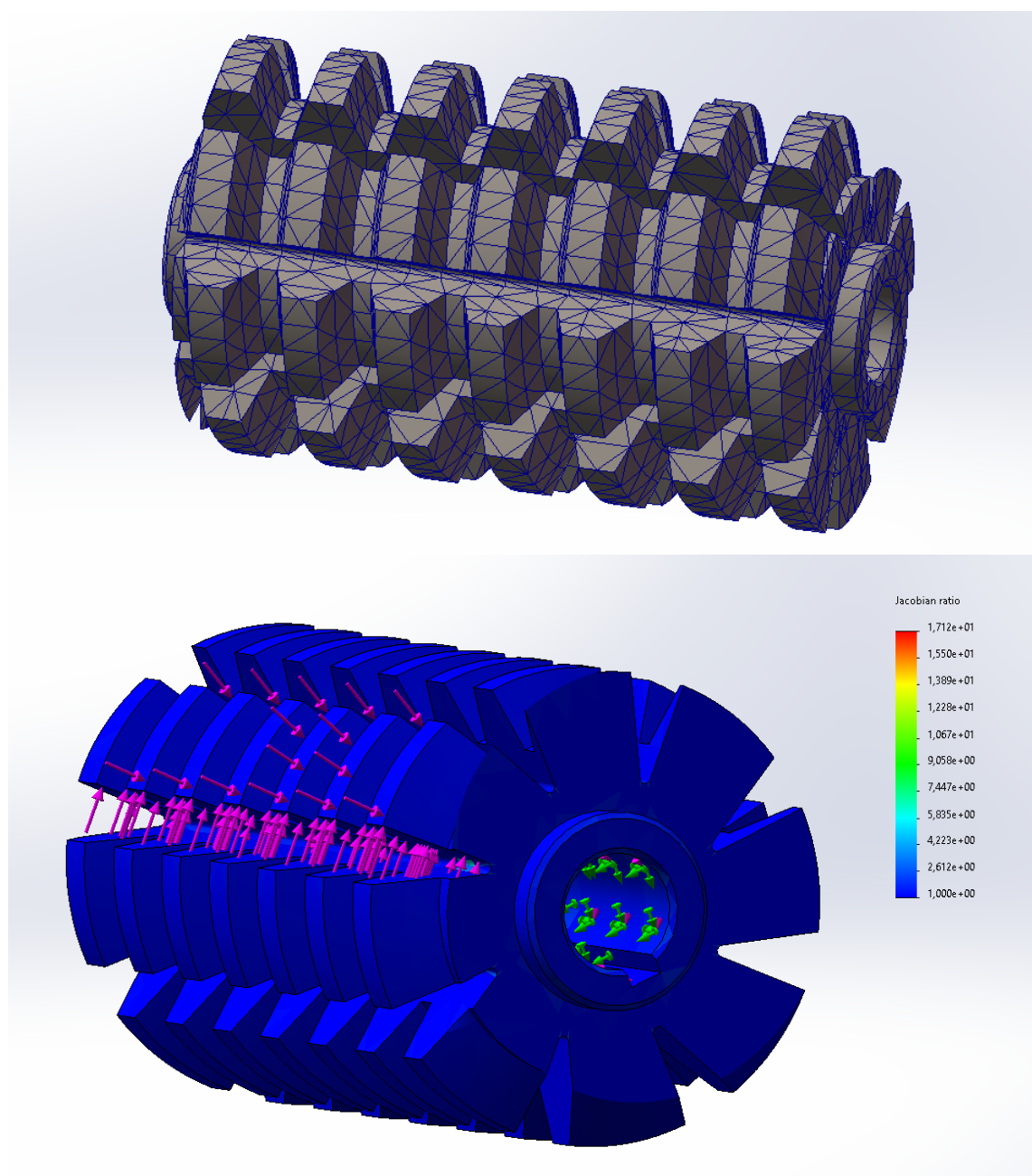


Рисунок 4.2 – Сітка моделі (а) та епюра якості сітки (б)

					КНУ.КБР.131.26.1-07.04.ПАР	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Другим етапом було визначення фіксацій та прикладення сил, діючих на інструмент. Закріплення фрези на шпинделі верстата відбувається по внутрішньому посадковому діаметру та по шпонковому пазу. На фрезу діють сила різання $P_z = 650 \text{ Н}$ та крутний момент $M_{кр} = 200 \text{ Н}\cdot\text{м}$, що зображено на рисунку 4.3.

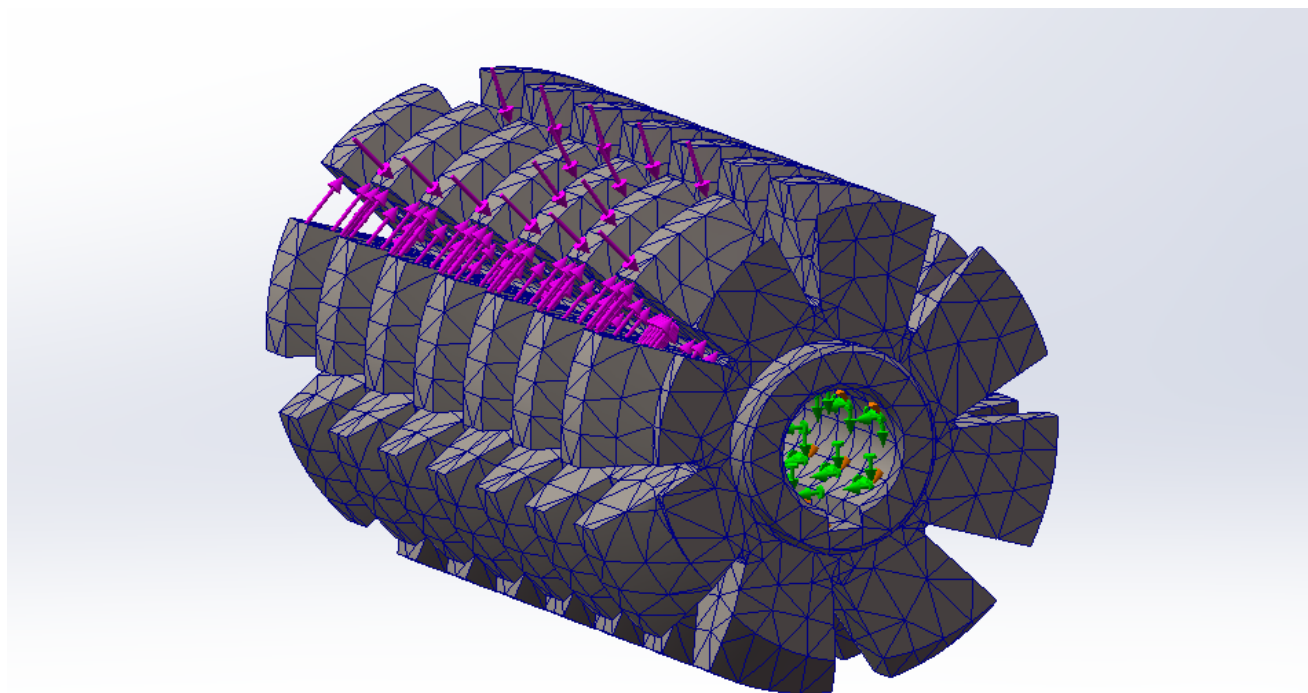


Рисунок 4.3 – Фіксація фрези та прикладені сили

Згідно згенерованим епюрам статичного навантаження та запасу міцності, зображеним на рисунку 4.4, можна дійти висновку, що черв'ячна фреза є придатною до використання в обробці деталі «Черв'як».

					КНУ.КБР.131.26.1-07.04.ПАР	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

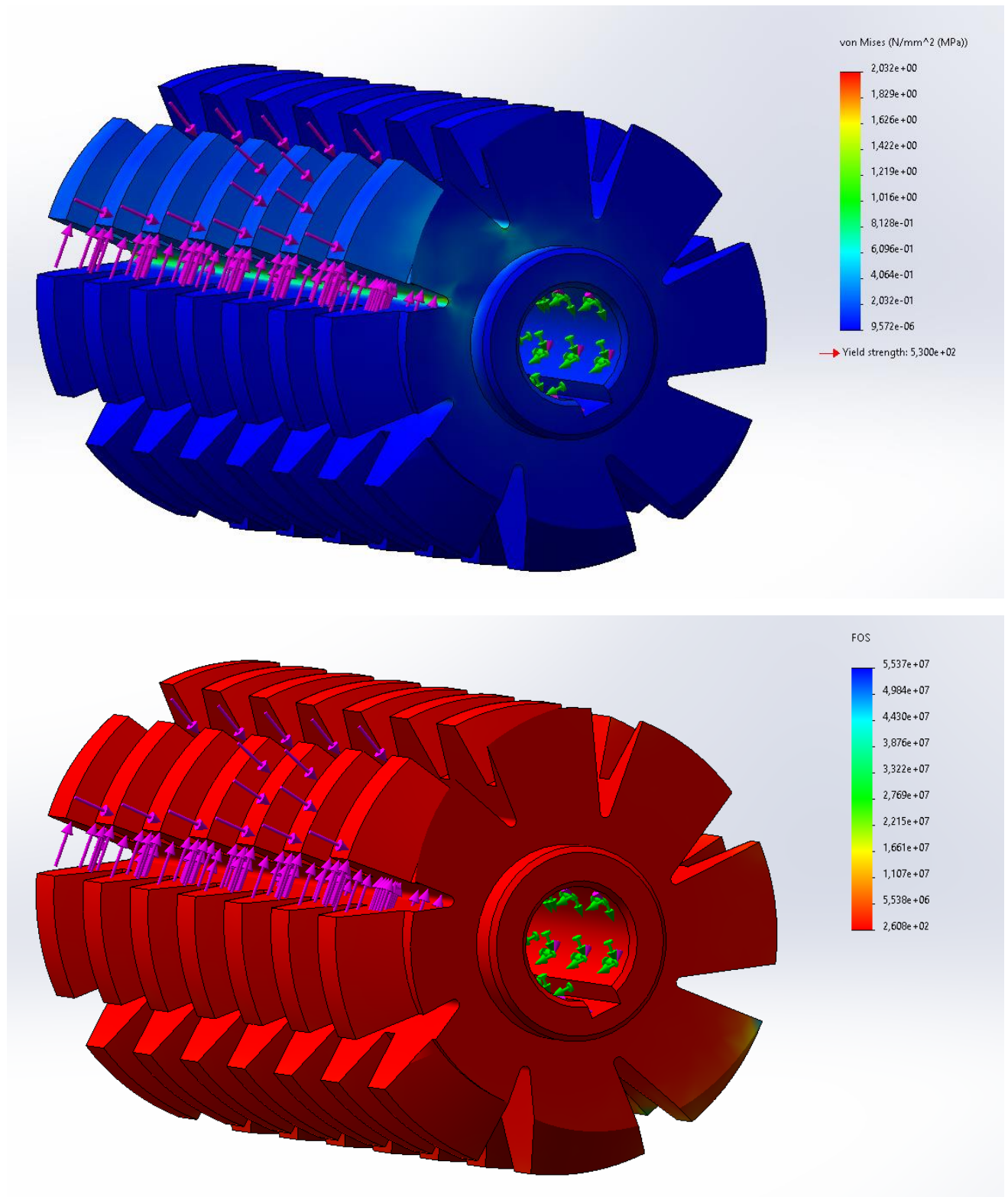


Рисунок 4.4 – Епюри статичного аналізу черв'ячної фрези

					КНУ.КБР.131.26.1-07.04.ПАР	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, налаштування постпроцесора

Моделювання та програмування механічної обробки проводимо для операції фрезерування шпонкового пазу. Суть операції полягає у фрезеруванні нестандартного 125x20x7,5 шпонкового пазу кінцевою фрезою. В якості заготовки було створено модель, що має вигляд деталі «Вал» після проведення токарної обробки (без шпонкового пазу) для подальшого імпортування в САМ-систему.

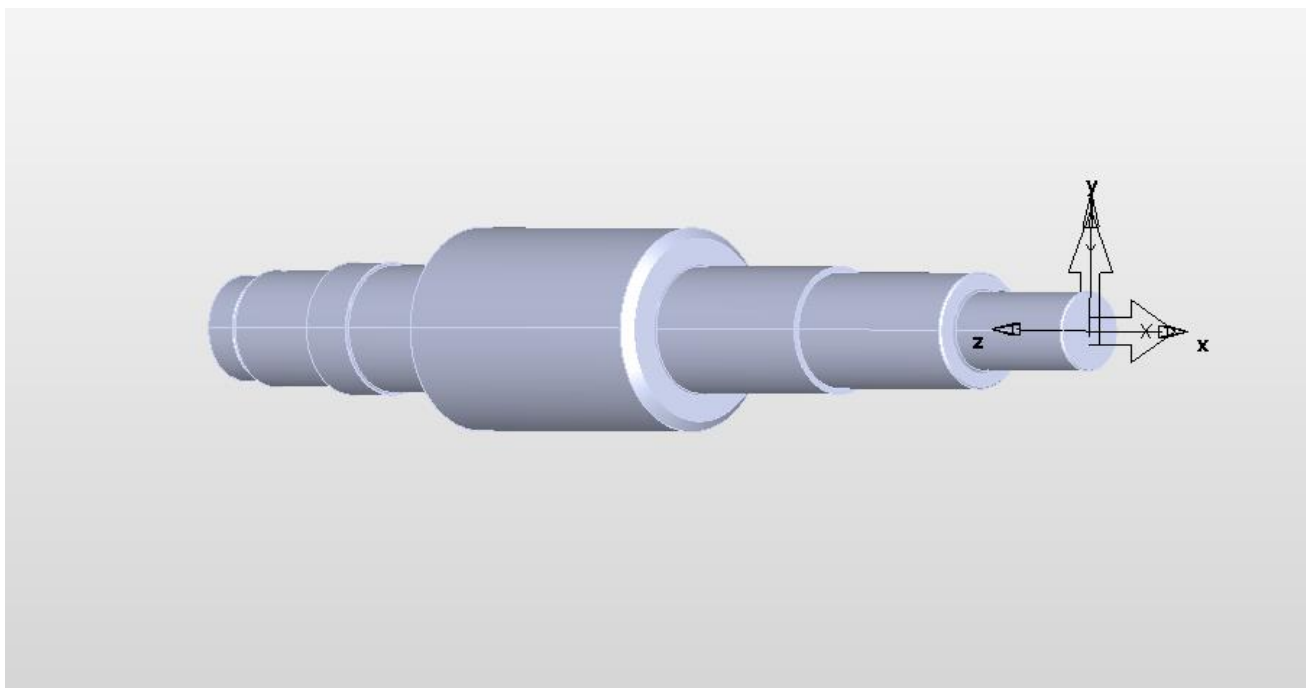


Рисунок 5.1 - Загальний вид заготовки

					КНУ.КБР.131.26.1-07.06.ОЕПВ			
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розроб.		Дужченко			Організаційно- економічна підготовка виробництва	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Бондар						
						Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Н. контр.		Нечасв						
Затверд.		Рязанцев						

5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм

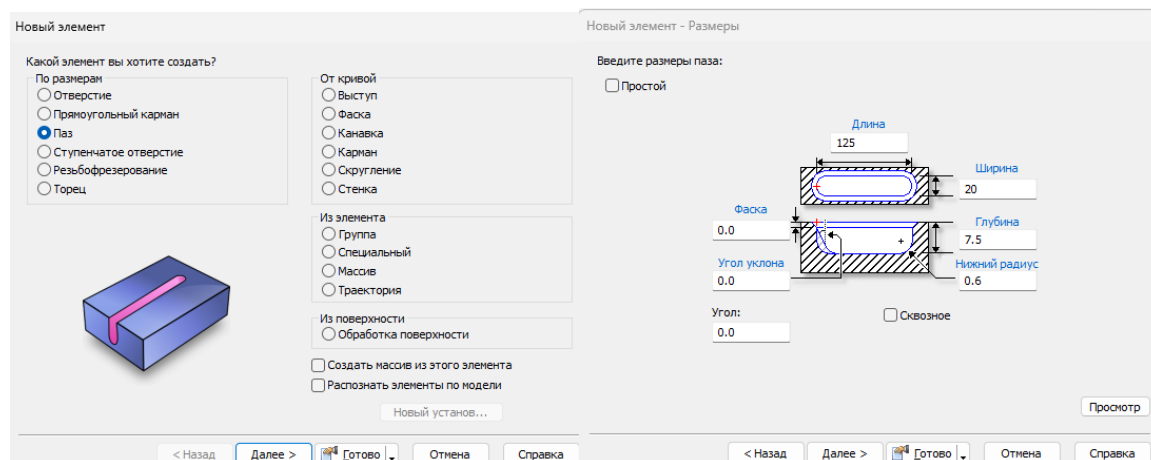


Рисунок 5.2 - Вибір елемента «Паз» та його налаштування

Моделювання обробки та перевірка керуючої програми було проведено в програмному середовищі Autodesk FeatureCAM. Було імпортовано модель заготовки (рисунок 5.1) та створено новий елемент «Паз». Налаштування елемента зображено на рисунку 5.2.

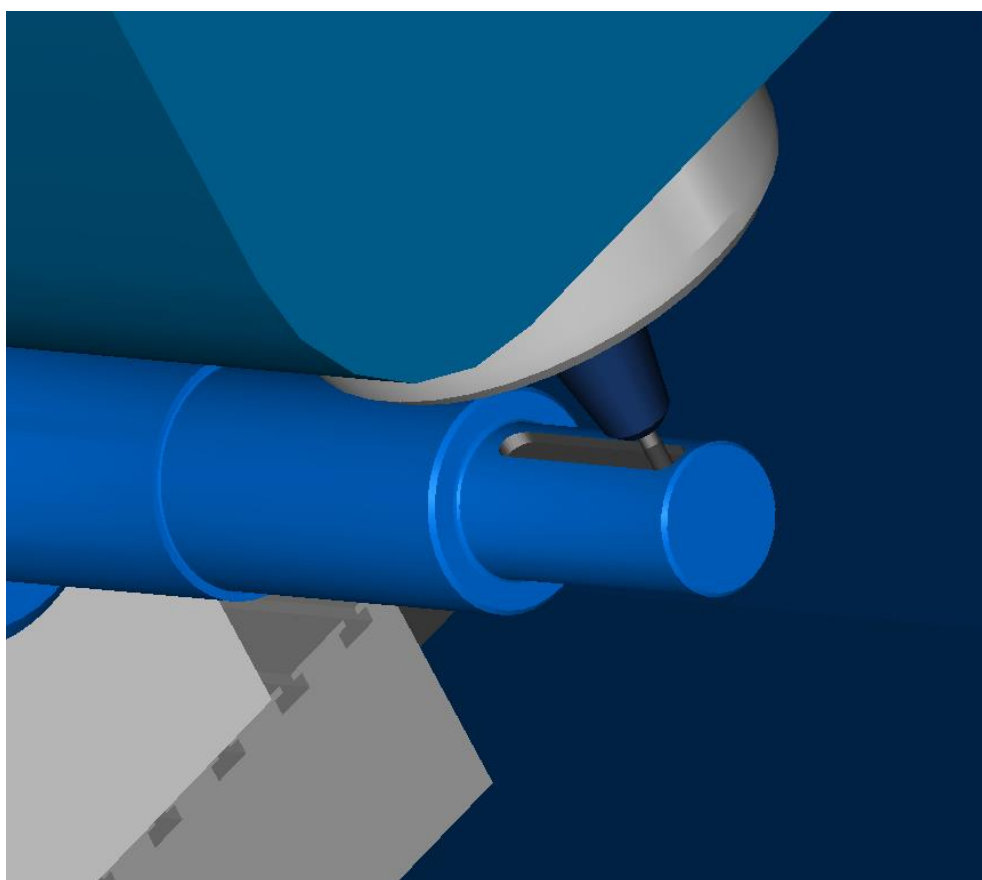


Рисунок 5.3 – Процес симуляції обробки отвору на верстаті

					КНУ.КБР.131.26.1-07.06.ОЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

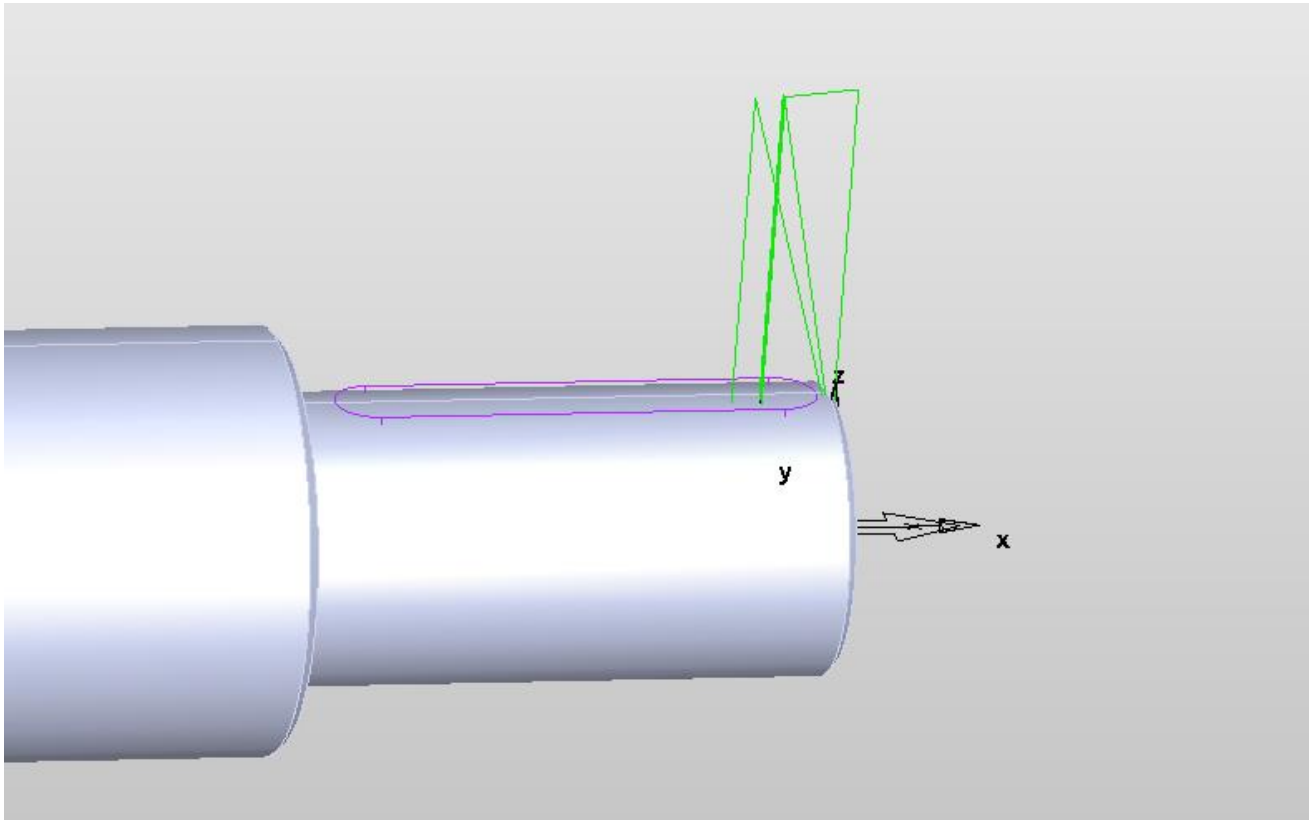


Рисунок 5.4 - Загальний вигляд траєкторії переміщення інструменту

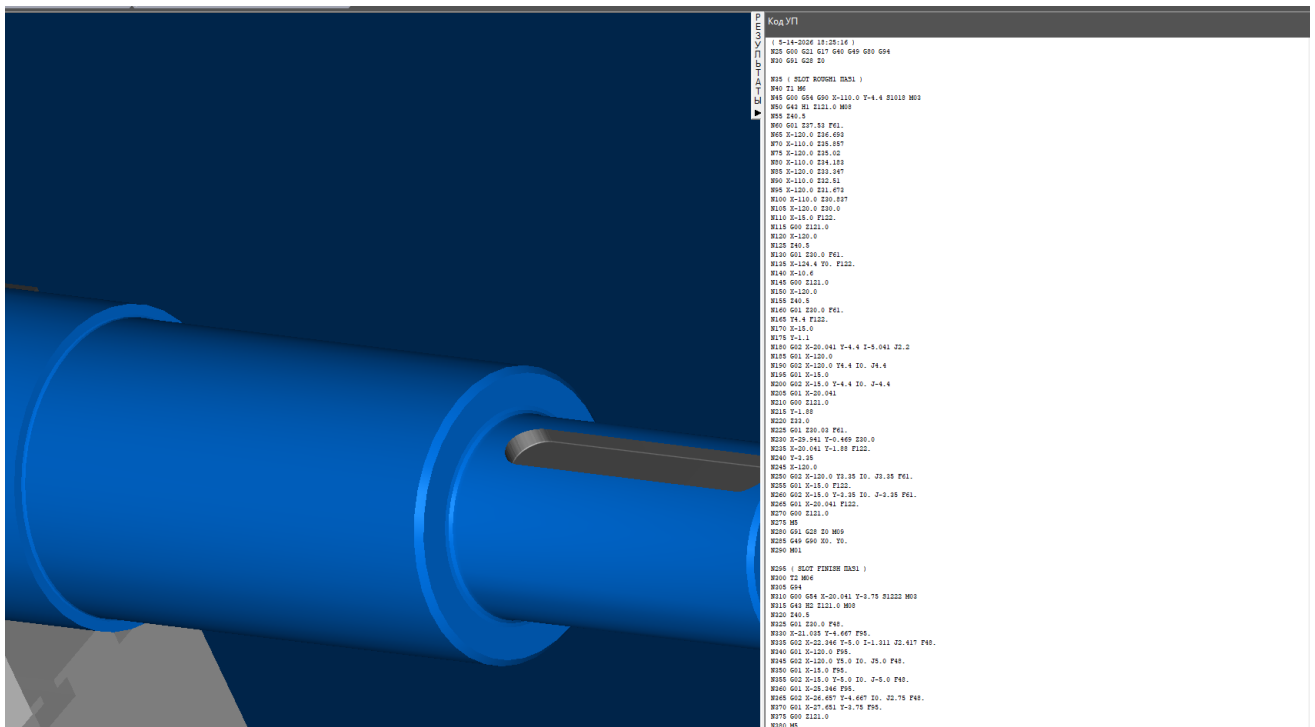


Рисунок 5.5 - Результат обробки деталі та керуюча програма

					КНУ.КБР.131.26.1-07.06.ОЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Охорона праці та екологія виробництва

Під час виготовлення деталі «Черв'як» виконуються токарні, фрезерувальні, свердлильні, різьбонарізні та шліфувальні операції, у процесі яких на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори. До основних із них належать рухомі частини верстатів, гостра та нагріта стружка, підвищений рівень шуму, вібрація, а також мастильно-охолоджувальні рідини (МОР).

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори умовно поділяються на механічні, фізичні, хімічні та психофізіологічні. До механічних відносять рухомі частини обладнання (зокрема потужних шпинделів та револьверних головок верстатів Doosan PUMA GT2600M та HAAS UMC-750) та інструменту; до фізичних - шум, вібрацію та підвищену температуру; до хімічних - вплив мастильно-охолоджувальних рідин; до психофізіологічних - перевтому та монотонність праці.

Мастильно-охолоджувальні рідини застосовуються для покращення умов різання, зниження температури інструменту та заготовки. Водночас при потраплянні на шкіру або при вдиханні аерозолів вони можуть чинити шкідливий вплив на організм працівника. Неналежне поводження з відпрацьованими МОР може призводити до забруднення навколишнього середовища.

Стружка, що утворюється в процесі механічної обробки сталі 50, має гострі краї та підвищену температуру, тому є потенційно небезпечною. Її потрапляння в очі або на відкриті ділянки тіла може спричинити травмування. Прибирання стружки виконується лише після повної зупинки обладнання із застосуванням спеціальних інструментів.

У виробничому приміщенні обов'язково передбачаються засоби пожежогасіння, такі як вогнегасники, пожежні щити. Забороняється зберігання легкозаймистих матеріалів поблизу працюючого обладнання. Персонал повинен бути проінструктований щодо дій у разі виникнення пожежі.

Для зменшення впливу шкідливих виробничих факторів необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту: захисні окуляри, рукавиці, спецодяг, а за потреби - респіратори. Важливими заходами є також дотримання правил експлуатації обладнання, використання місцевої вентиляції, своєчасне збирання та утилізація відпрацьованих МОР, а також організоване збирання металевої стружки з подальшою передачею на вторинну переробку.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.06.ОЕПВ			
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розроб.	Дужченко				Організаційно- економічна підготовка виробництва	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Бондар							
Н. контр.	Нечасв					Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Затверд.	Рязанцев							

Реалізація цих заходів забезпечує безпечні умови праці та зменшує негативний вплив виробництва на довкілля.

Робоче місце має бути ергономічним: зі зручним доступом до керування, достатньою видимістю зони обробки та комбінованим освітленням (загальним і місцевим).

Особливу увагу слід приділяти електробезпеці, оскільки верстати з ЧПК живляться від електромережі. Усі металеві частини обладнання повинні бути заземлені, а електрообладнання - справним і таким, що проходить регулярні перевірки. Робота на несправному обладнанні забороняється.

З метою зменшення негативного впливу на довкілля доцільно впроваджувати ресурсозберігаючі технології, зокрема повторне використання МОР після очищення. Металева стружка підлягає сортуванню та подальшій вторинній переробці. Також ефективним є використання сучасних екологічно безпечних МОР зі зниженим рівнем токсичності та здатністю до біологічного розкладу.

6.2 Оцінка техніко-економічної ефективності вибору токарного обладнання

Оцінка техніко-економічної ефективності виконана методом порівняльного аналізу базового та нового варіантів токарного обладнання при виконанні токарних операцій у технологічному процесі виготовлення деталі «Черв'як». «У базовому варіанті розглянуто верстати 16A20Ф3, 16K20Ф3С5 та 1В340Ф30. Як новий варіант, що детально розроблений у розділі 2 даної роботи, прийнято високопродуктивний токарний верстат з ЧПК Doosan PUMA GT2600M.» Порівняння варіантів здійснено за критеріями мінімізації витрат та максимізації ефективності виробництва. Основними показниками оцінки є собівартість обробки деталі, річні експлуатаційні витрати та економічний ефект від впровадження нового обладнання.

У розрахунках враховано штучний час, час налагодження, оплату праці, розробку КП, експлуатаційні витрати та капвкладення. Результати зведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані до економічних розрахунків

Дані	Базовий варіант (16A20Ф3)	Базовий варіант (16K20Ф3С5)	Базовий варіант (1В340Ф30)	Новий варіант (Doosan PUMA)
1	2	3	4	5
Річний обсяг випуску деталей N, шт.	1500	1500	1500	1500
Кількість запусків партій деталей в рік, шт	12	12	12	12

					КНУ.КБР.131.26.1-07.06.ОЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Продвоження таблиці 6.1

1	2	3	4	5
Тривалість випуску деталей Z, років	1	1	1	1
Штучний час обробки деталі тшт, хв.	65	60	55	28
Час наладки верстата, хв.	45	40	35	20
Кількість кадрів програми, шт.	420	420	420	650
Вартість заготовки Sзаг, грн.	15624	15624	15624	15624
Середній період стійкості інструменту, хв.	45	50	55	120
Вартість розробки ПК, грн.	3000	3000	3000	5600

Використання сучасного токарного центру з ЧПК Doosan PUMA GT2600M забезпечує підвищення точності обробки, зменшення впливу людського фактора та значне скорочення часу виконання операцій. Автоматизація процесу дозволяє знизити трудомісткість виготовлення такої масивної (близько 118 кг) та складної за конфігурацією деталі як «Черв'як», а також підвищити стабільність якості продукції.

У структурі витрат значну частку становлять витрати на оплату праці, амортизацію обладнання та енергоспоживання. Застосування сучасного обладнання дозволяє оптимізувати ці витрати за рахунок підвищення продуктивності, стійкості твердосплавного інструменту (пластини з покриттям) та скорочення тривалості обробки.

Економічний ефект та короткий строк окупності підтверджують доцільність модернізації виробництва й високу ефективність інвестицій.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.06.ОЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

За результатами порівняння встановлено, що застосування токарного верстата з ЧПК Doosan PUMA GT2600M є економічно доцільним. Новий варіант забезпечує зниження поточних витрат і підвищення ефективності виконання токарних операцій. Розрахунковий річний економічний ефект від впровадження нового верстата становить 385 450 грн., а строк окупності капітальних вкладень - 2,1 роки.

Висновок: Впровадження сучасних технологій та обладнання не лише покращує умови праці та зменшує негативний вплив на довкілля, але й забезпечує економічну ефективність виробництва, що є важливим фактором підвищення конкурентоспроможності підприємства.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.06.ОЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У цій кваліфікаційній бакалаврській роботі було виконано конструкторсько-технологічну підготовку виготовлення деталі «Черв'як» та обґрунтування параметрів різального інструменту із застосуванням CAD/CAM/CAE систем. У ході роботи розроблено технологічний процес виготовлення деталі, виконано підбір стандартного та проєктування спеціального різального інструменту, проведено його інженерний аналіз, а також змодельовано процеси механічної обробки на верстатах з ЧПК.

У першому розділі наведено технічне завдання та виконано аналіз вихідного креслення деталі «Черв'як». Було визначено службове призначення деталі як основного елемента черв'ячної передачі, що забезпечує зниження частоти обертання та збільшення крутного моменту. Розглянуто конструктивні особливості деталі (профіль витка архімедового черв'яка типу ЗА, довжина 1127 мм, модуль 16) та виконано розрахунок параметрів точності шпонкового з'єднання $\varnothing 75-20 \times 12-2$ у системі вал-шпонка.

У другому розділі обґрунтовано вибір матеріалу — сталі 50 ДСТУ 7809:2015, а також наведено властивості можливих аналогів матеріалу. Проведено аналіз поверхонь деталі, вибрано раціональний спосіб отримання заготовки (поковка вільного кування) та призначено технологічні методи обробки. Для виготовлення деталі підібрано сучасне металорізальне обладнання: токарний верстат з ЧПК Doosan PUMA GT2600M, вертикальний обробний центр HAAS UMC-750 та круглошліфувальний верстат Studer S33. Також було розроблено маршрутно-операційну технологію механічної обробки деталі.

У третьому розділі виконано вибір ріжучих і допоміжних інструментів за міжнародними стандартами. Для різних операцій обробки підібрано прохідні, підрізні та різьбонарізні різці, кінцеві фрези, а також шліфувальне коло. Виконано розрахунок на міцність та жорсткість державки прохідного різця DCLNR2020X12JETI, який підтвердив її здатність витримувати навантаження при чорновому точінні. З урахуванням конструкції верстатів та інструментів підібрано допоміжне оснащення (адаптери та термооправки).

Четвертий розділ присвячено проєктуванню та інженерному аналізу спеціального різального інструменту - черв'ячної фрези. У програмному середовищі SOLIDWORKS створено тривимірну модель інструменту та проведено його інженерний аналіз із використанням модуля SOLIDWORKS Simulation. Отримані результати та згенеровані епюри дозволили оцінити

					КНУ.КБР.131.26.1-07.B			
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розроб.	Дужченко				Аналіз службового призначення деталі	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Бондар							
						Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Н. контр.	Нечасв							
Затверд.	Рязанцев							

міцність, запас міцності і працездатність фрези під дією сил різання та крутного моменту.

У п'ятому розділі виконано моделювання та програмування операції механічної обробки (фрезерування нестандартного шпонкового пазу 56x8). За допомогою Autodesk FeatureCAM створено траєкторії руху інструменту та виконано симуляцію процесу обробки на верстаті з ЧПК. Проведене моделювання дозволило візуально оцінити правильність керуючої програми та підтвердити відсутність помилок перед реальною обробкою.

Шостий розділ присвячено питанням охорони праці, екології виробництва та оцінці техніко-економічної ефективності використання сучасного обладнання з ЧПК. Проведені розрахунки підтвердили доцільність заміни базових верстатів (16A20Ф3, 16K20Ф3С5, 1В340Ф30) на сучасний токарний центр Doosan PUMA GT2600M. Розрахунковий річний економічний ефект від впровадження нового верстата становить 385 450 грн при строку окупності 2,1 роки, що забезпечує зниження витрат на виготовлення та підвищення конкурентоспроможності підприємства.

					КНУ.КБР.131.26.1-07.01.АСПД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

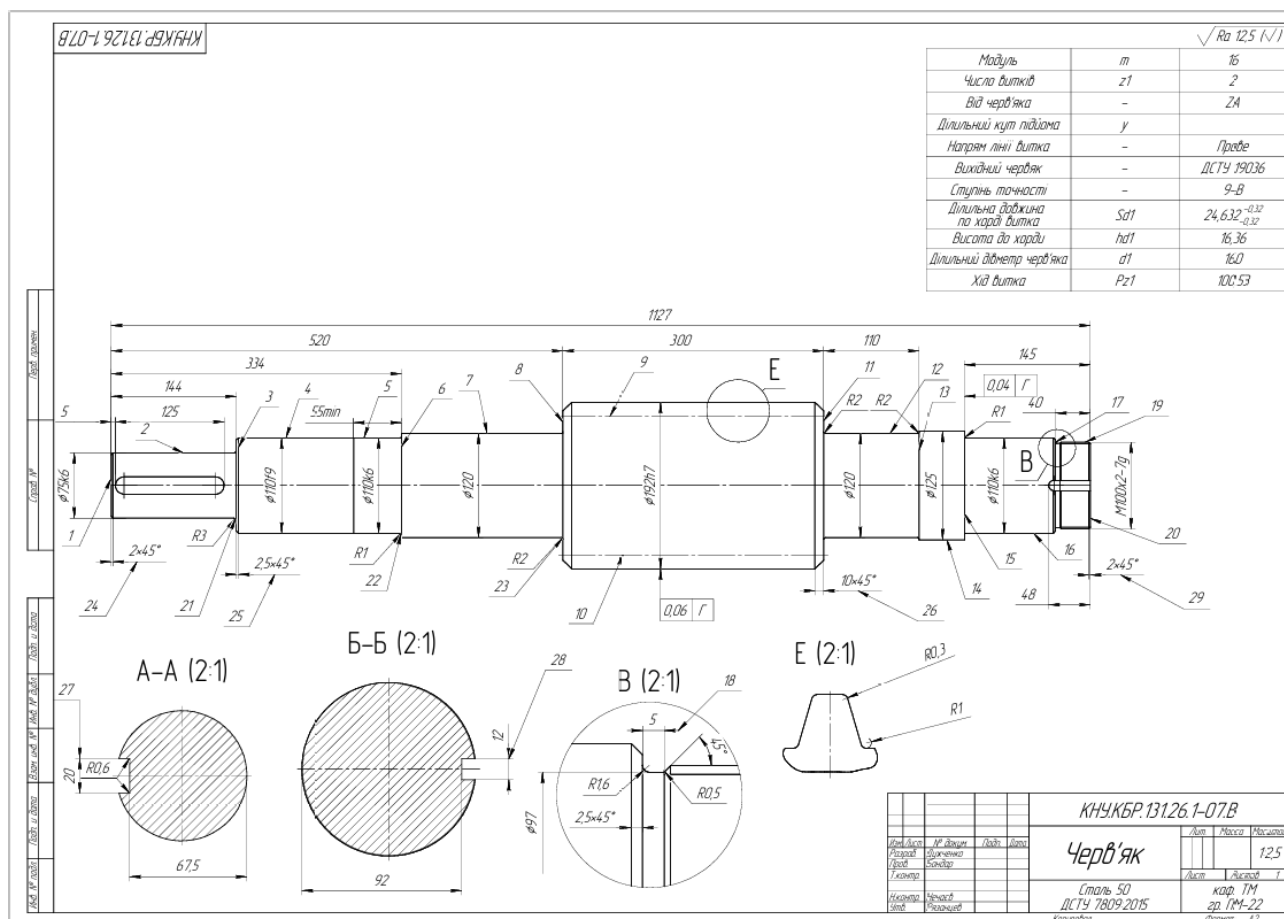
1. Токарна обробка: Кат. та техн. керівництво. SECO, 2020. 808 с.
2. Фрезерування: Кат. та техн. керівництво. SECO, 2020. 626 с.
3. Фрезерний інструмент: Кат. та техн. керівництво. 2020. 350 с.
4. Абразивний інструмент: Кат. та техн. керівництво. ANDRE ABRASIVE ARTICLES, 2020. 89 с.
5. Нефьодов Н., Осипов К. Збірник задач і прикладів з різання металів і різального інструменту: Навч. посіб. 5-те вид. М.: "Машинобудівництво", 1990. 447 с.
6. ДСТУ 7809:2015. Прокат сортовий, калібрований, зі спеціальним оздобленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови. Київ, 2016. 23 с.
7. ДСТУ 1050-88. Прокат сортовий, калібрований, зі спеціальним оздобленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови. Київ, 1988. 24 с

					КНУ.КБР.131.26.1-07.СВД			
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розроб.		Дужченко			Список використаних джерел	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Бондар						
Н. контр.		Нечасів				Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Затверд.		Рязанцев						

ДОДАТОК

					КНУ.КБР.131.26.1-07.Д								
Змін	Арку	№ Документа	Підпис	Дата									
Розроб.		Дужченко			Додаток			Літ.		Арк.		Акрушів	
Перевір.		Бондар											
Реценз													
Н. Контр.		Нечаєв											
Затверд.		Рязанцев											

Нумерація поверхонь деталі



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

**АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення
деталі «Черв'як» та обґрунтування параметрів різального
інструменту за допомогою САПР

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Ілля ДУЖЧЕНКО

Керівник КБР

(підпис)

Олена БОНДАР

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

Кривий Ріг
2026 р.

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-сть	Примітка
				Деталі		
A2			КНУ.КБР.131.26.1-07.B.2D.3A	Черв'як	1	
A1			КНУ.КБР.131.26.1-07.BIH.2D.3A	Верстатно-інструментальне налагодження	1	
A3			КНУ.КБР.131.26.1-07.ЧВ.2D.3A	Черв'ячна фреза	1	
A3			КНУ.КБР.131.26.1-07.IACPI.2D.3A	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	1	
A3			КНУ.КБР.131.26.1-07.МПМО.2D.3A	Моделювання процесу механічної обробки	1	

					КНУ.КБР.131.26.1-07.ВЕДГМ			
Змін	Арку	№ Документа	Підпис	Дата	Відомість електронних документів графічних матеріалів	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Дужченко							
Перевір.	Бондар							
Реценз						Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Н. Контр.	Нечаєв							
Затверд.	Рязанцев							

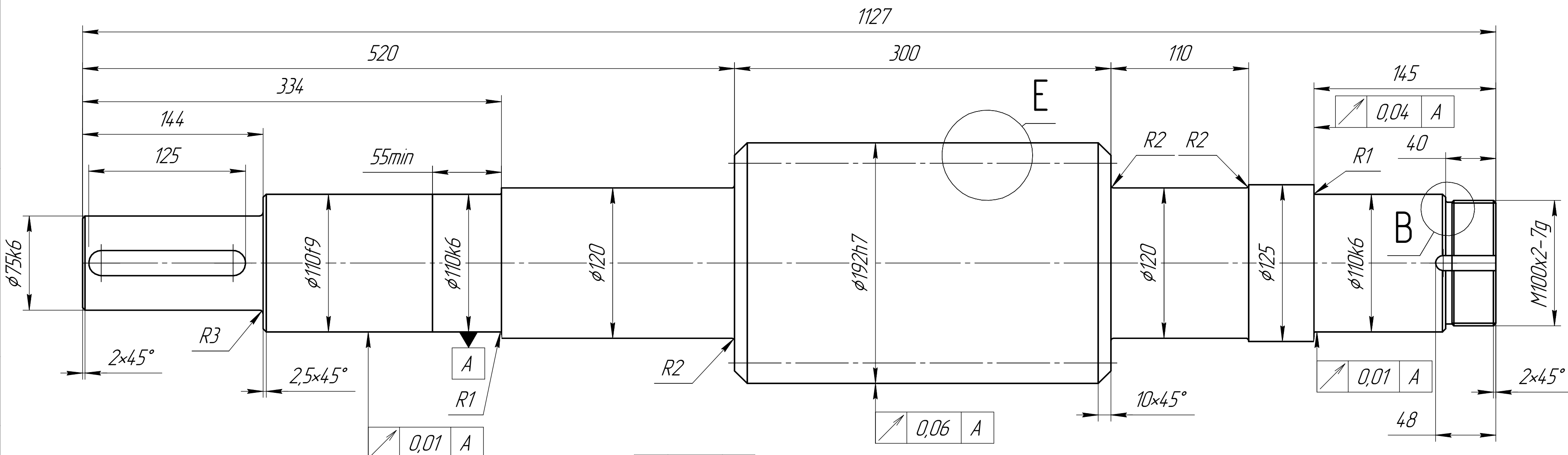
КНУ.КБР.131.26.1-07.4

✓ Ra 12,5 (✓)

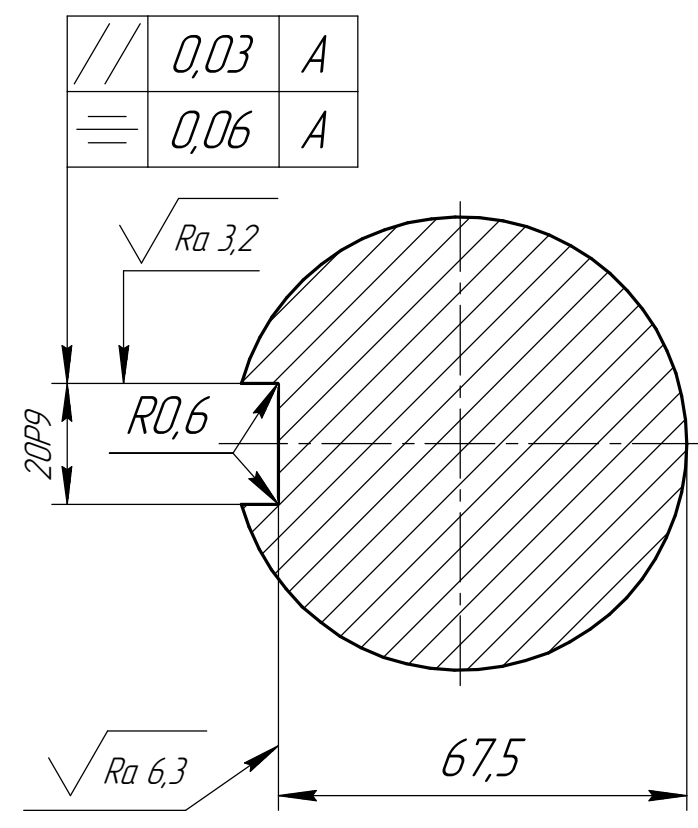
Модуль	m	16
Число витків	z1	2
Від черв'яка	-	ZA
Ділильний кут підйома	y	11°18'24"
Напрям лінії витка	-	Праве
Вихідний черв'як	-	ДСТУ 19036
Ступінь точності	-	9-B
Ділильна довжина по хорді витка	Sd1	24,632 ^{-0,32} _{-0,32}
Висота до хорди	hd1	16,36
Ділильний діаметр черв'яка	d1	160
Хід витка	Pz1	100,53

Стор. примен.

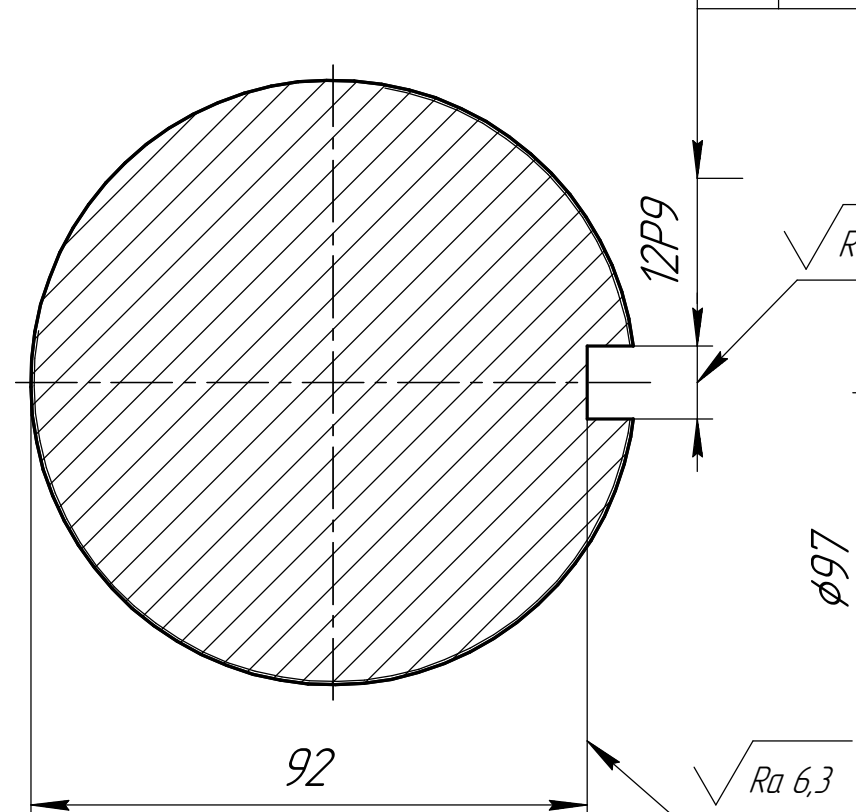
Стор. №
Взам. ил. №
Инд. № дудл.
Подп. и дата
Инд. № подл.



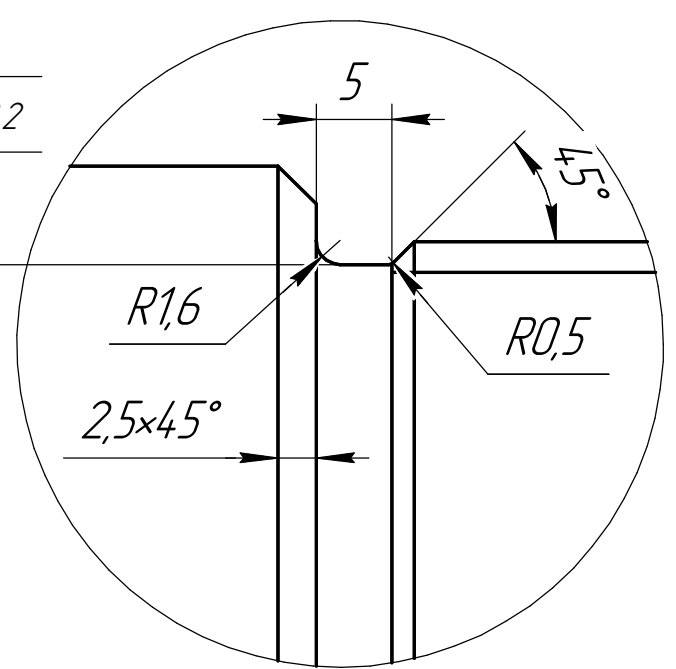
A-A (2:1)



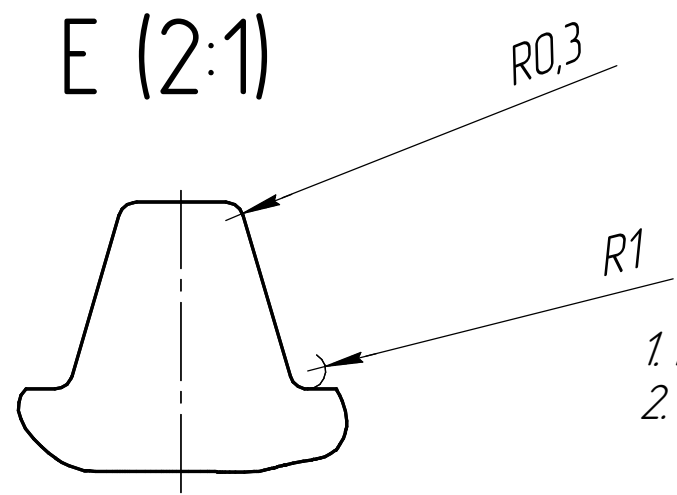
Б-Б (2:1)



В (2:1)



Е (2:1)

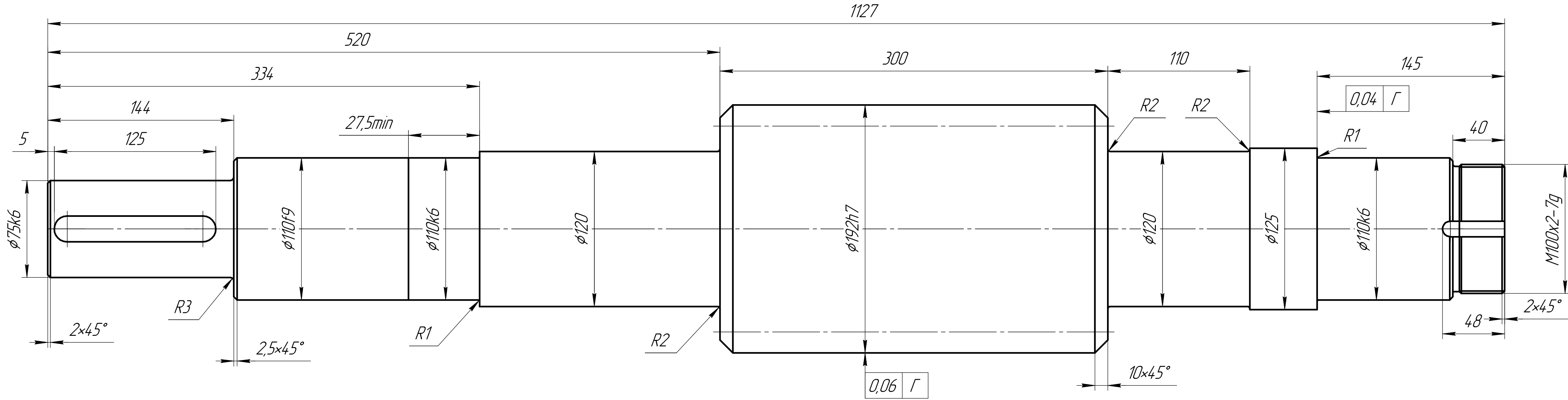


1. НВ 212...248.
2. Невказані граничні відхилення: Н14, h14, ± IT14/2.

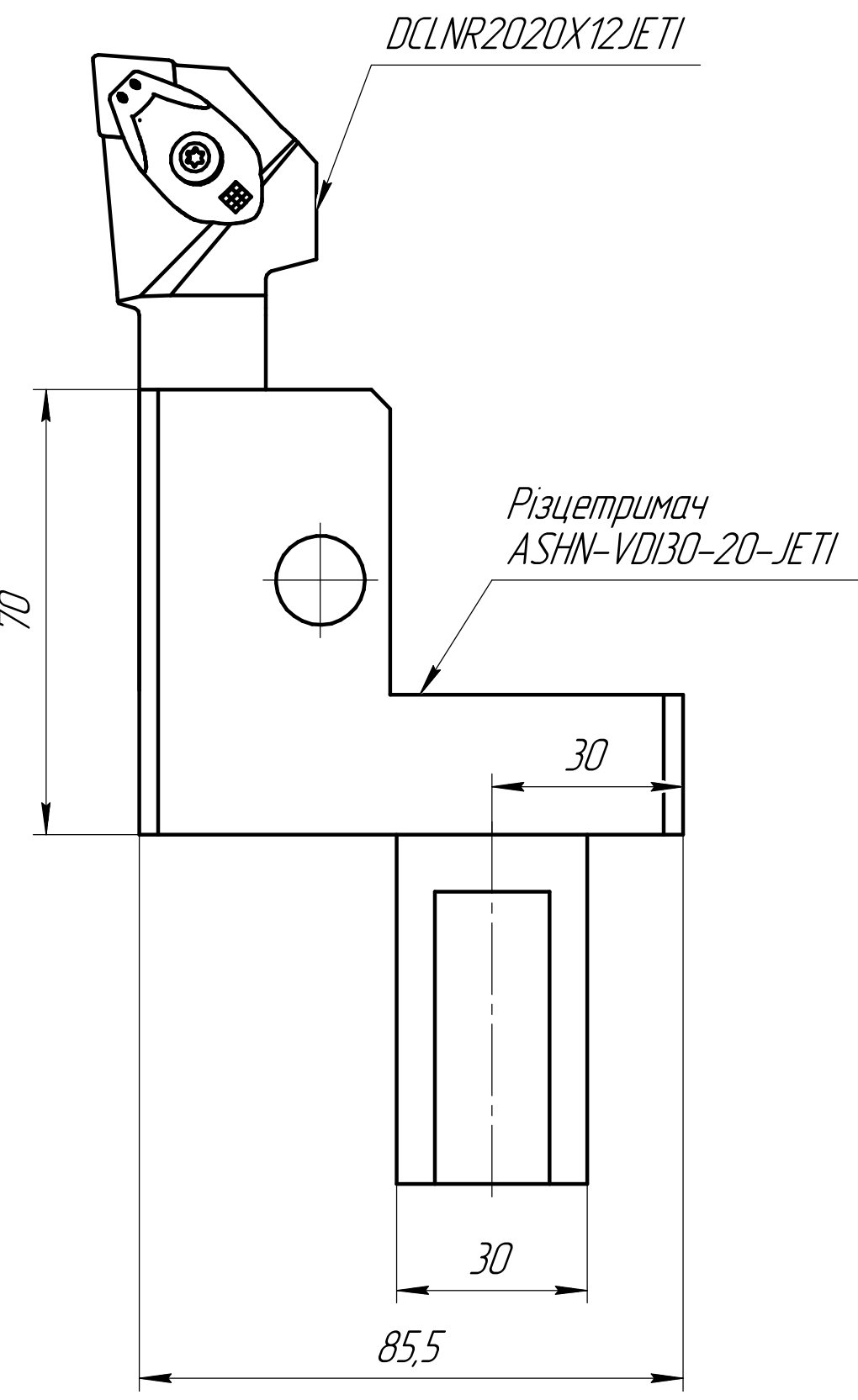
КНУ.КБР.131.26.1-07.4						Черв'як			Лист	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата							1:2,5
Разраб.	Дужченко										
Проб.	Бондар										
Т.контр.											
Н.контр.	Нечасев										
Утв.	Рязанцев										
						Сталь 50 ДСТУ 7809:2015			каф. ТМ гр. ПМ-22		
						Копировал			Формат А2		

					КНУ.КБР.131.26.1-07.Ч.2D.3A			
Змін	Арку	№ Документа	Підпис	Дата				
Розроб.		Дужченко			Черв'як	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Бондар						
Реценз						Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Н. Контр.		Нечаєв						
Затверд.		Рязанцев						

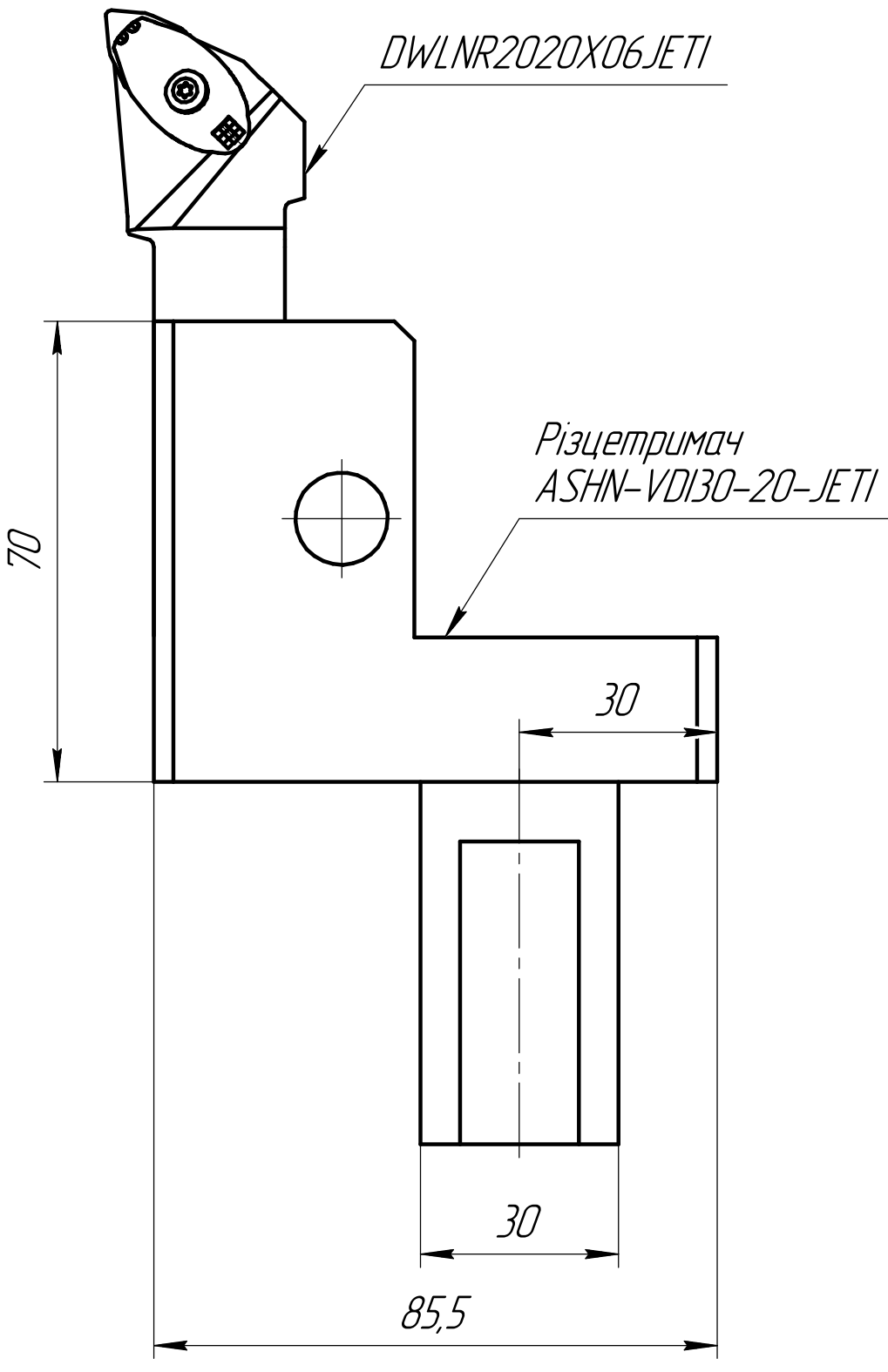
Операція токарна, верстат з ЧПК моделі Doosan PUMA GT2600M



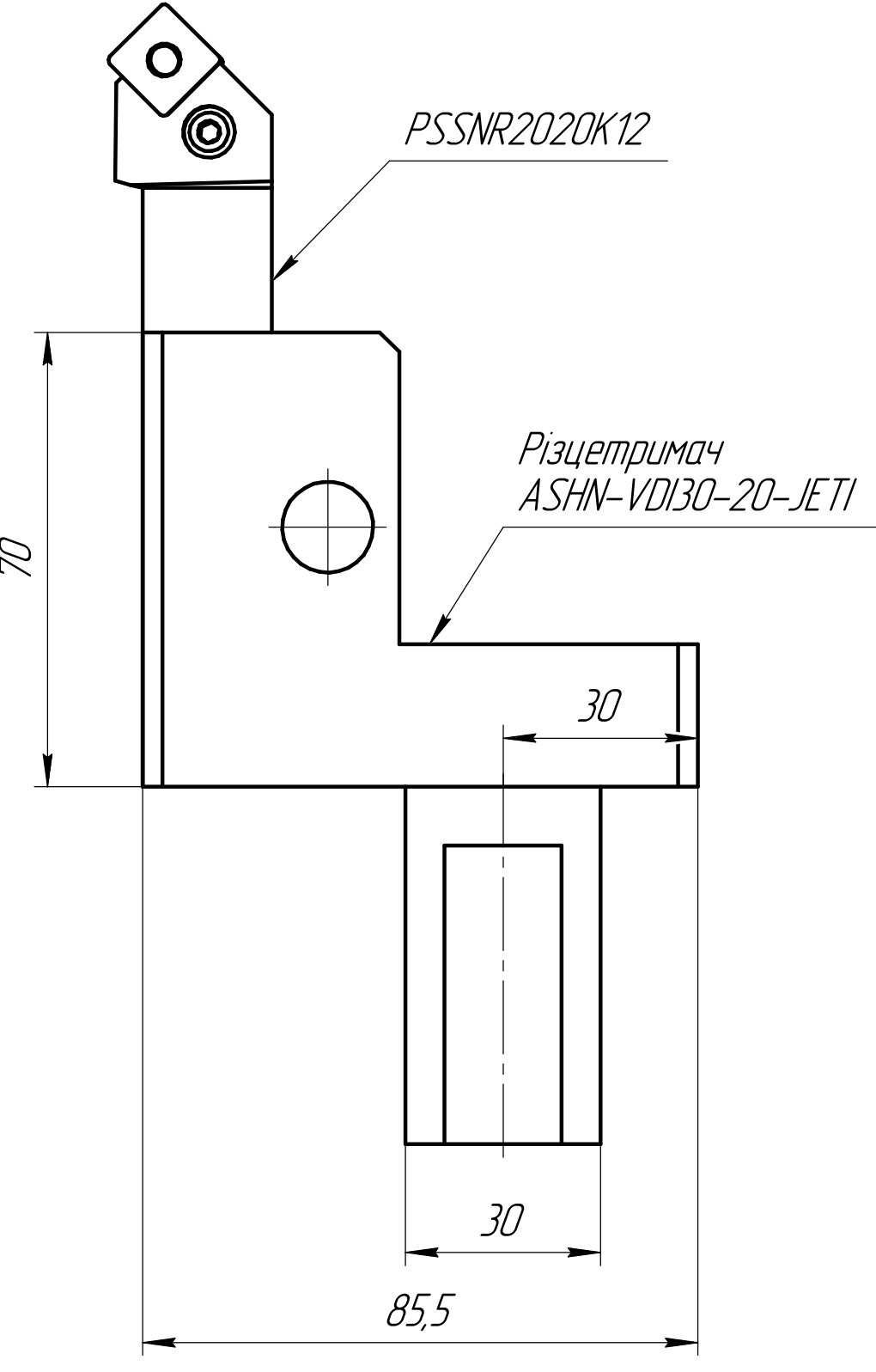
Позиції 1, 20, 3, 6, 8, 11, 13, 15, 17



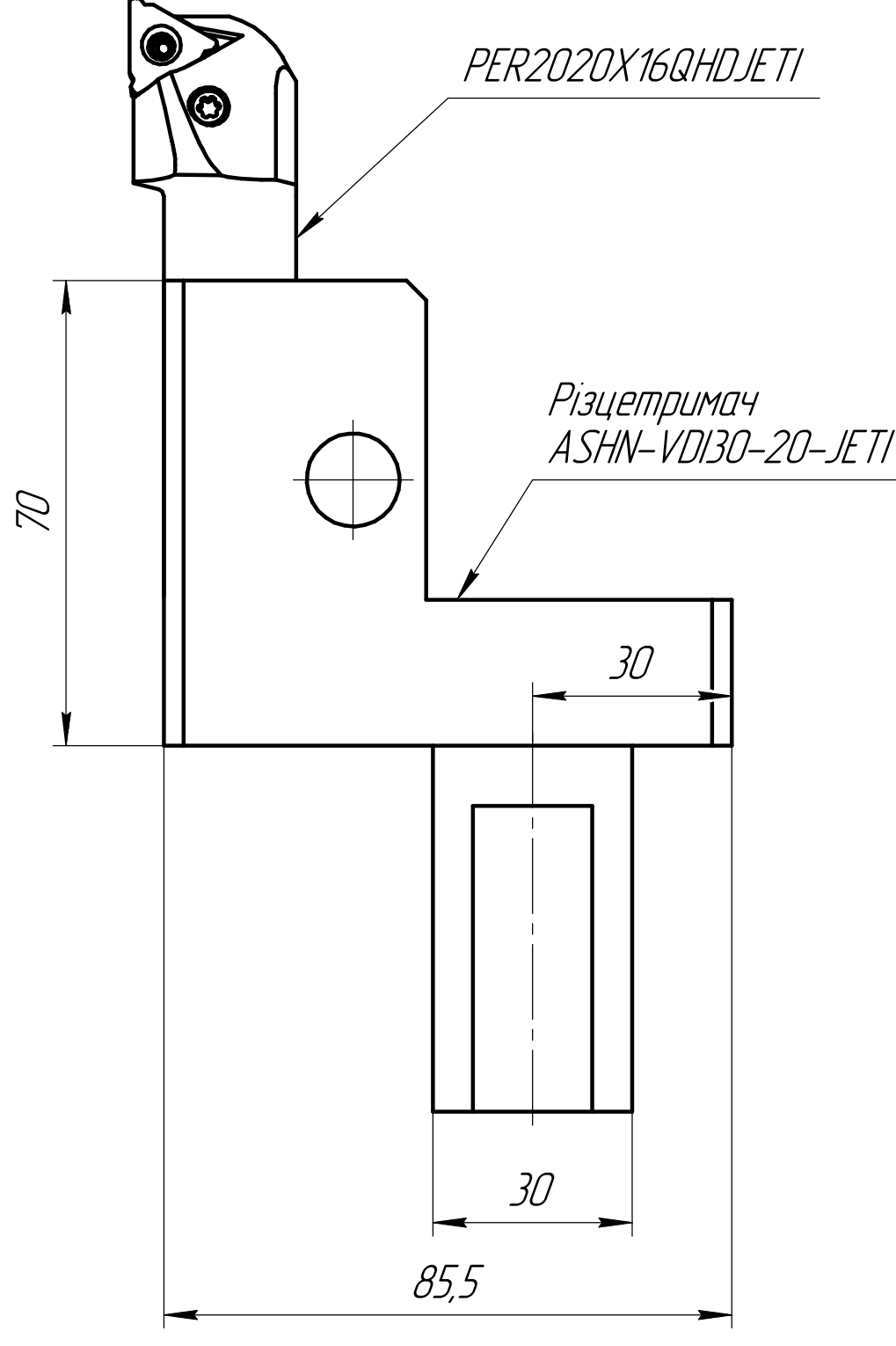
Позиції 2, 4, 5, 7, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29



Позиції 2, 4, 5, 9, 16, 19



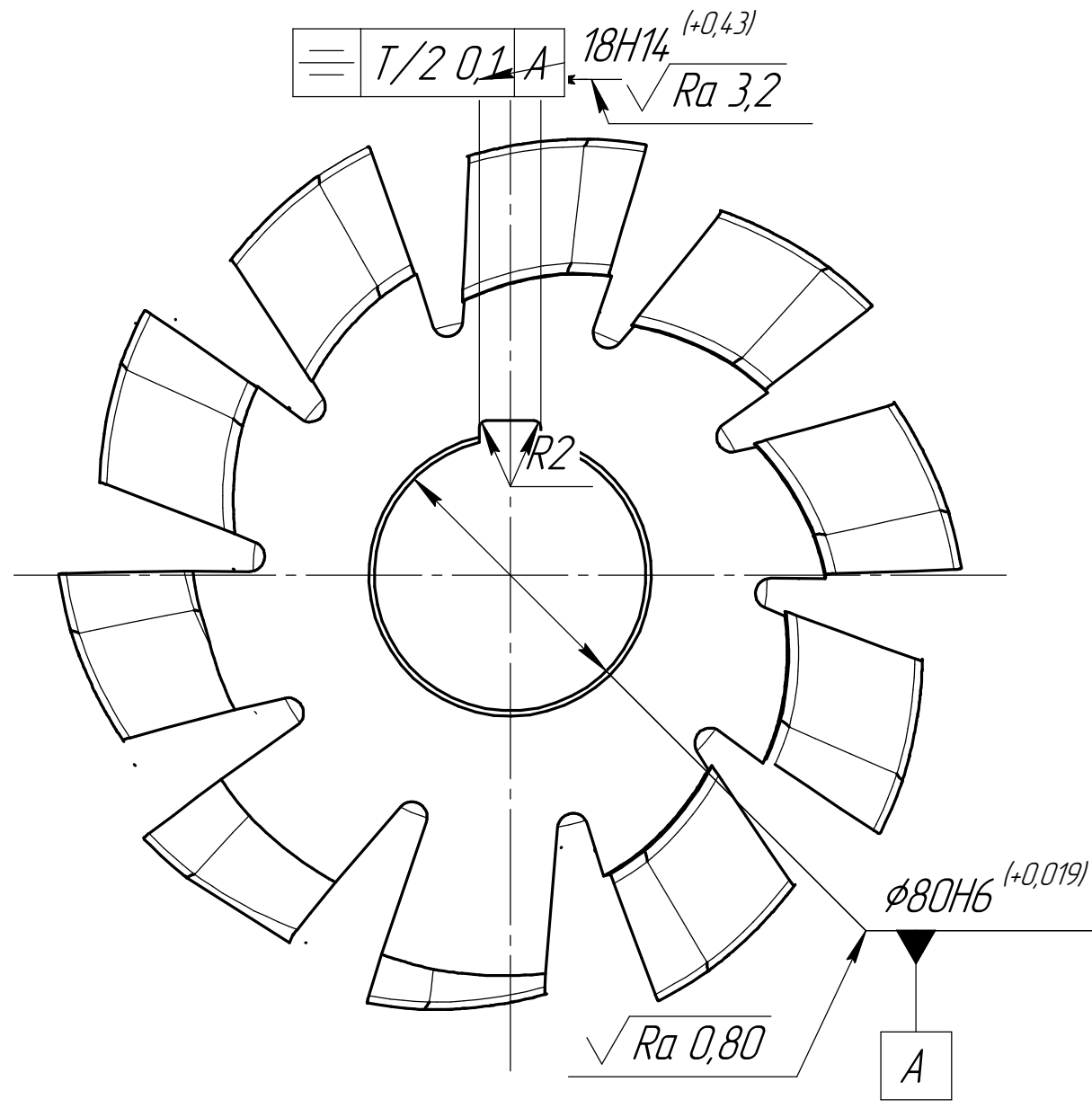
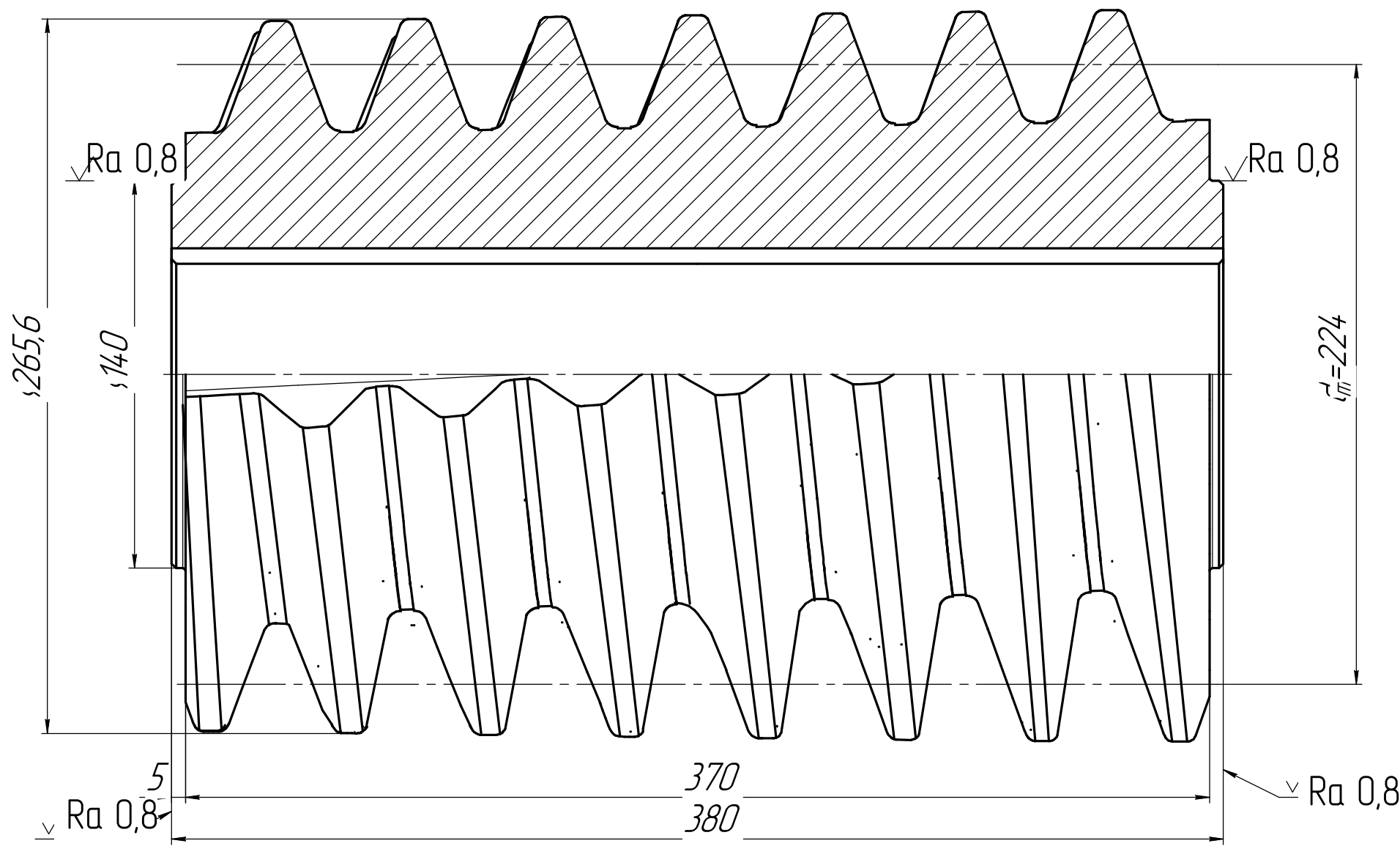
Позиція 19



Типи різців	Шифр державки	Шифр пластини	Пластина	Матеріал пластини	Геометричні параметри пластини, мм	Геометричні параметри державки, мм
Підрізний різець	DCLNR2020X12JETI	CNMG120408-M5		TP1501	IC=12,7мм; L=12,9мм; S=4,76мм; D1=5,15мм	H=20мм; B=20мм; OAL=100мм; LF=36мм; WF=27,2мм; HF=20мм
Прохідний різець	DWLNR2020X06JETI	WNMG060408-M5		TP1501	IC=9,53мм; L=6,5мм; S=4,76мм; D1=3,81мм	H=20мм; B=20мм; OAL=95мм; LF=31мм; WF=27,2мм; HF=20мм
Прохідний різець	PSSNR2020K12	SNMG 1204 12-M5 SNMG 1204 12-MF2		TP1501 TP2501	L=12,7мм; S=4,76мм; D1=5,15мм	H=20мм; B=20мм; LF=31мм; LFS=133,3мм; WF=25мм; WFS=16,7мм; LH=28мм
Різець для нарізання різьби	PER2020X16QHDJETI	16ERA55		CP500	Крок-0,5-3,0; Витків-48-8; PDY-1,1мм; PDX=1,5мм	H=20мм; B=20мм; LF=91мм; WF=25мм; LH=30мм

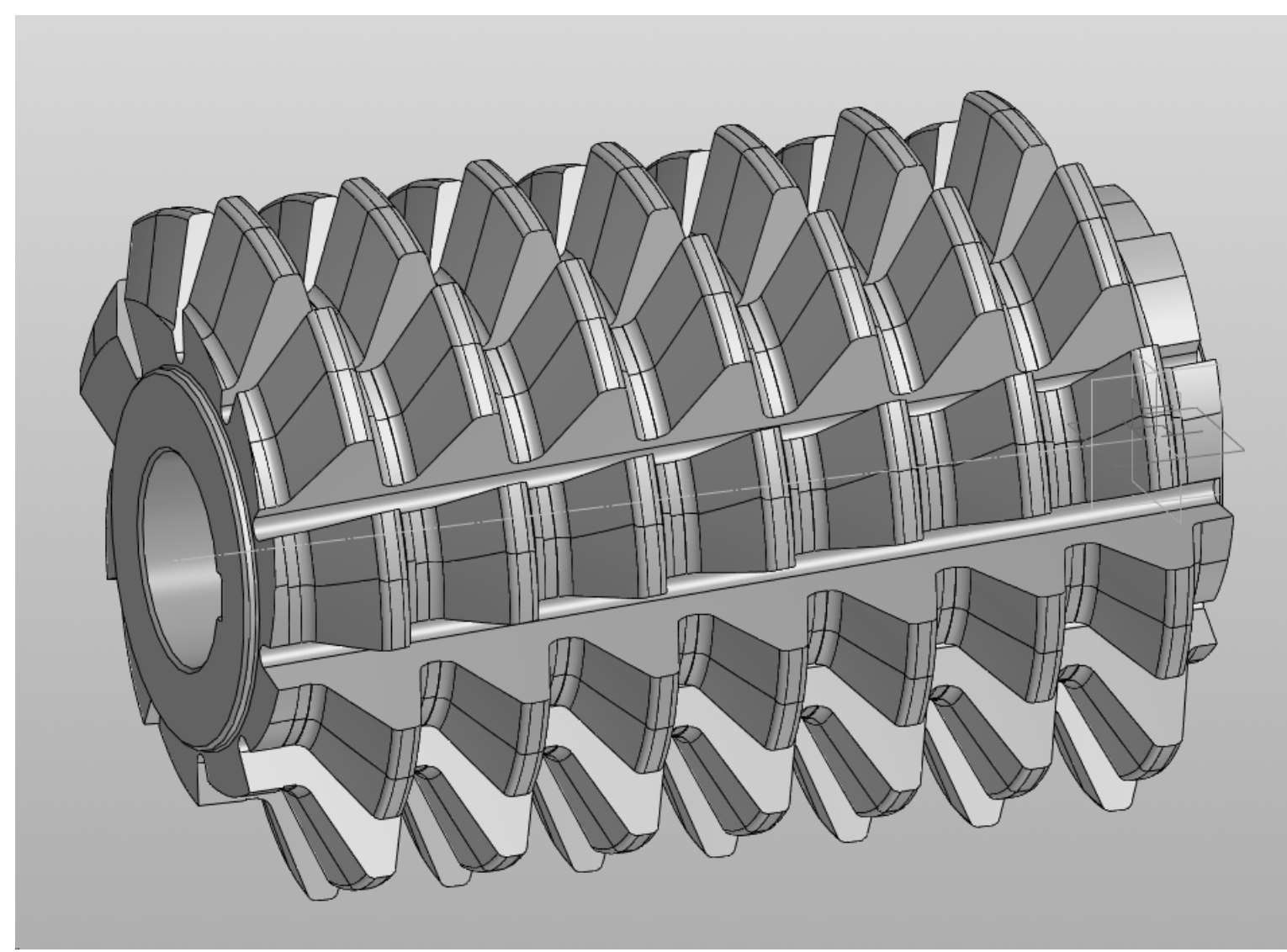
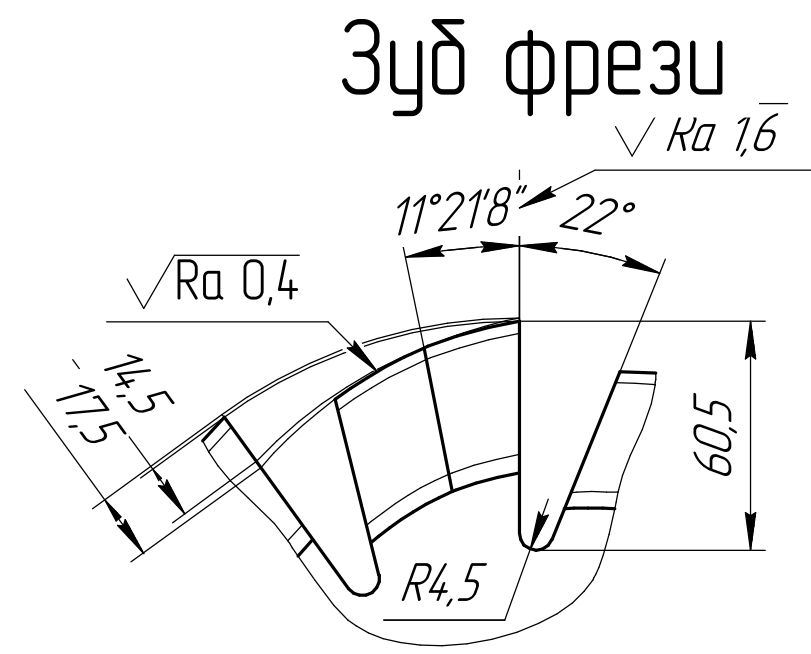
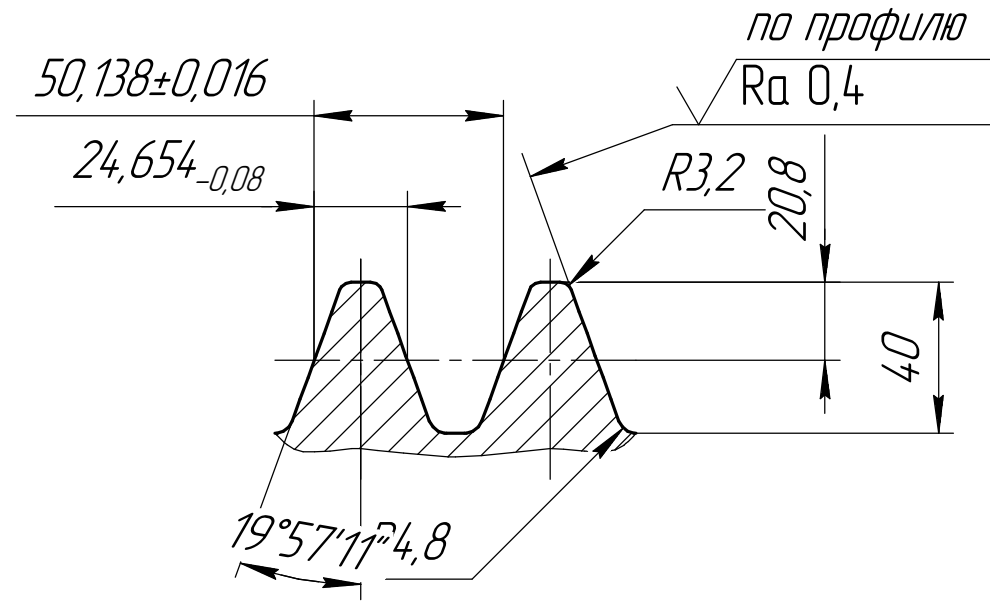
					КНУ.КБР.131.26.07.ВІН				
					Верстатно-інструментальне налагодження	Лист		Маса	Масштаб
Кам'яниця	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					1:1
Разраб.		Дужченко							
Проб.		Бондар							
Т. контр.									
Н.контр.		Нечай				Лист		Листів	1
Утв.		Рязанцев				Кафедра ТМ гр. ПМ-22			
					Копіювальна	Формат		А1	

					КНУ.КБР.131.26.1-07.ВІН.2D.3A								
Змін	Арку	№ Документа	Підпис	Дата	Верстатно інструментальне налагодження				Літ.		Арк.	Акрушів	
Розроб.		Дужченко											
Перевір.		Бондар											
Реценз									Кафедра ТМ гр. ПМ-22				
Н. Контр.		Нечаєв											
Затверд.		Рязанцев											



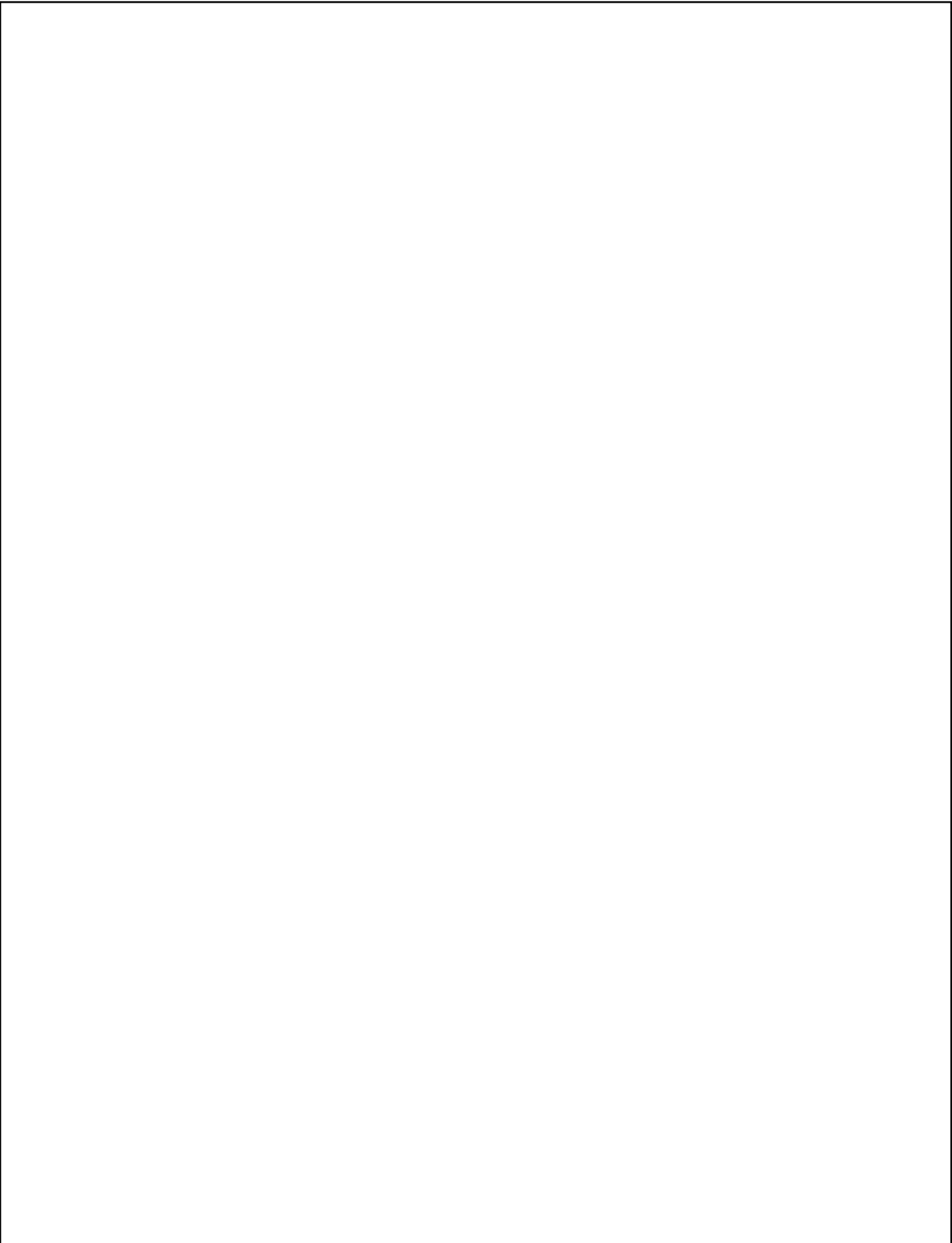
Фреза		
Вид черв'яка	-	ЗА
Модуль	m	16
Число стружкових канадок	z_0	10
Число заходів	n	1
Напрямок витків фрези	-	праве
Кут підйому витка фрези на середньому розрахунковому діаметрі	$\gamma_{то}$	4°06'
Напрямок стружкових канадок	-	ліве
Кут нахилу лінії канадки на середньому розрахунковому діаметрі	$\lambda_{то}$	4°06'
Хід гвинтових стружкових канадок	p_{20}	9827
Вихідний контур черв'яка	-	ДСТУ 2455-94
Клас точності по ДСТУ 6637-80	-	B
Радіальне диття дуртиків	f_y	0,016
Торцеве диття дуртиків	f_t	0,01
Радіальне диття по вершинах зубів	f_{rda}	0,08
Профіль передньої поверхні	f_y	0,08
Різниця сусідніх окружних кроків стружкових канадок	$f_{\omega 0}$	0,08

Профіль зуба у нормальному перерізі (1:2)

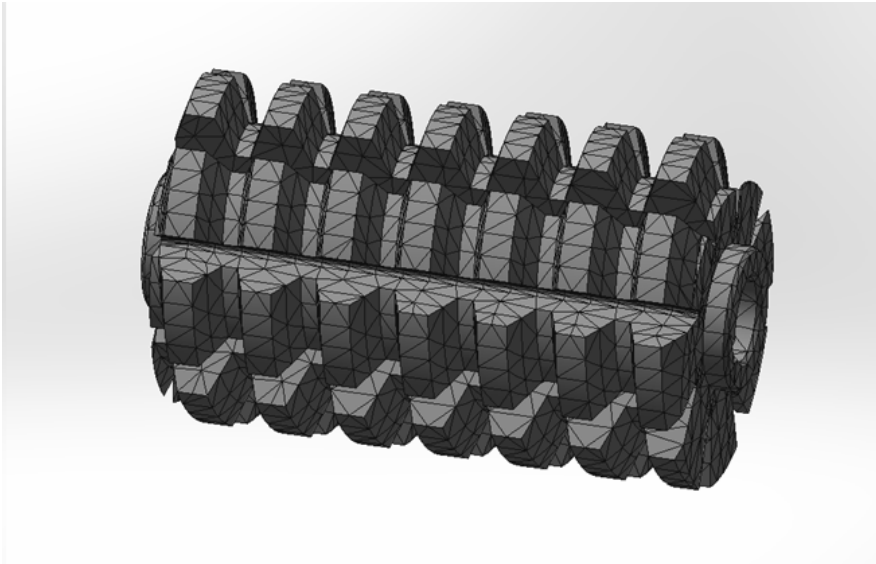


- 1. Черв'ячна фреза повинна відповідати параметрам: число заходів – 1, напрямок витків – правий, напрямок канадок – лівий. Маса – 76,79 г.
- 2. Шорсткість поверхонь Ra 0,8...3,2.
- 3. Клас точності H14 (за ДСТУ 6637-80 – клас B). Допуски диття (радіальне по вершинах зубів, торцеве та радіальне дуртиків) – не більше 0,08 мм.
- 4. Маркувати: модуль, клас точності, кут підйому витка, хід гвинтових стружкових канадок, марку сталі (m16 – B – 4°06' – Pz0 9827 – P6M5).

КНУ.КБР.131.26.1-07.4Ф				Черв'ячна фреза		
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Дужченко				76,79	1:1
Проб.	Бондар			Лист	Листов	1
Т.контр.				Сталь P6M5 EN 10060:2003		
Н.контр.	Нечаев			Кафедра ТМ		
Утв.	Рязанцев			гр ПМ-22		
Копіював				Формат А3х2		



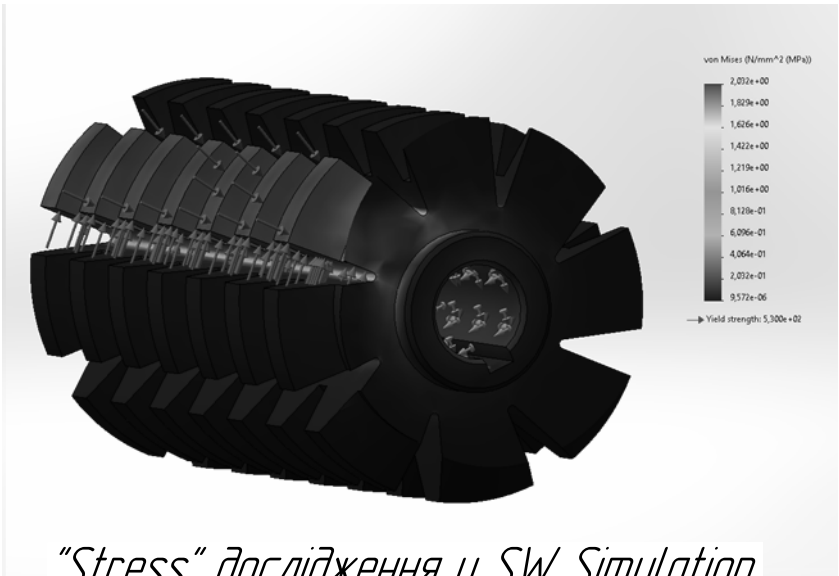
					КНУ.КБР.131.26.1-07.ЧФ.2D.3A						
Змін	Арку	№ Документа	Підпис	Дата							
Розроб.		Дужченко			Черв'ячна фреза				Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Бондар									
Реценз									Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Н. Контр.		Нечаєв									
Затверд.		Рязанцев									



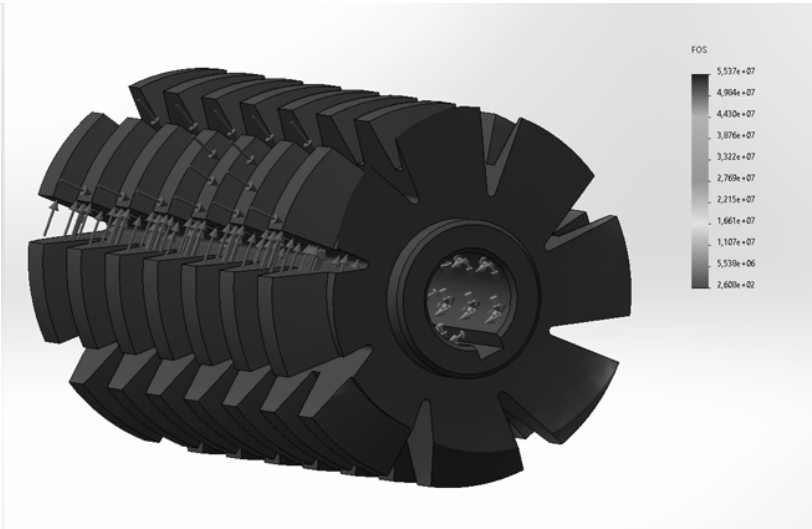
Загальний вигляд сітки



Фіксація сили та прикладені сили
у SW Simulation



"Stress" дослідження у SW Simulation

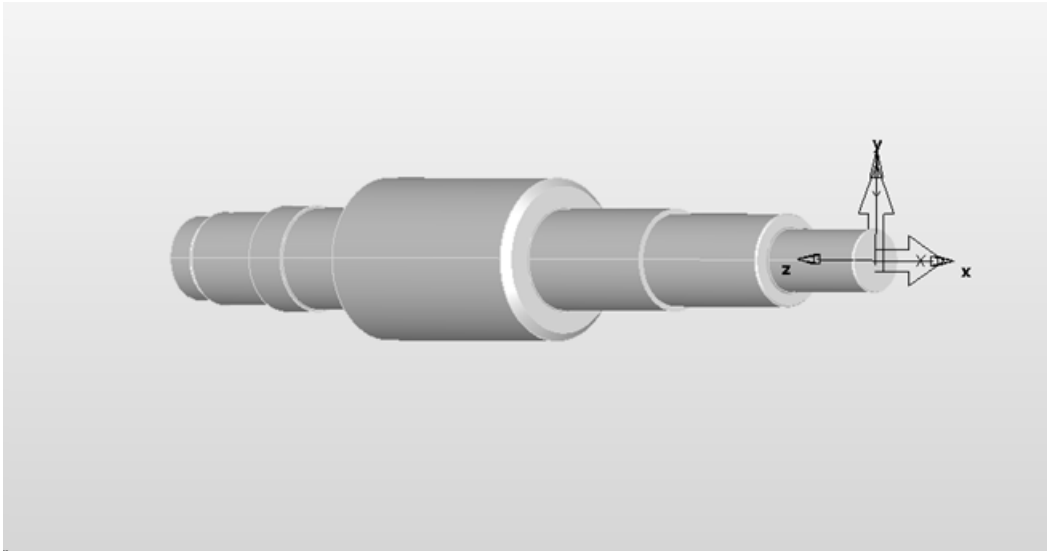


Дослідження "Factor of Safety" у SW Simulation

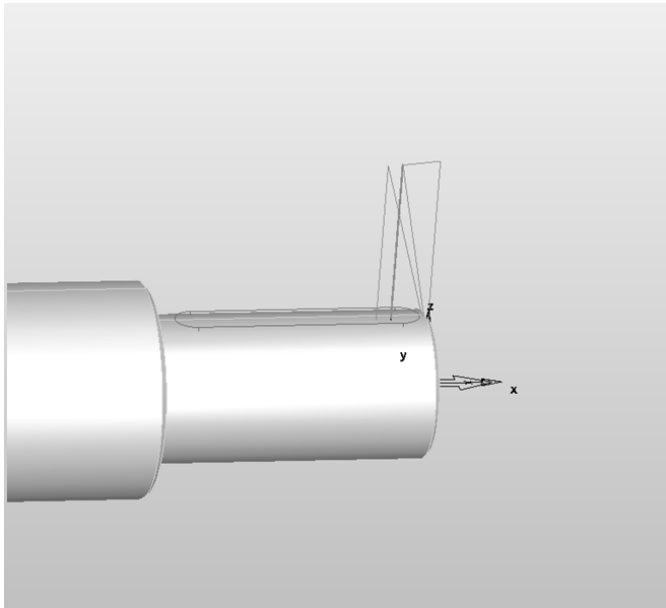
					КНУ.КБР.131.26.1-07.ІАСРІ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	Лит.	Масса	Масштаб
	Разраб.	Дужченко						1:2,5
	Пров.	Бондар						
	Т.контр.					Лист	Листов	1
Н.контр.	Нечаєв				каф. ТМ гр. ПМ-22			
Утв.	Рязанцев							
Копировал						Формат А3		

					КНУ.КБР.131.26.1-07.ІА.2D.3А			
					Інженерний аналіз			
Змін	Арку	№ Документа	Підпис	Дата				
Розроб.		Дужченко						
Перевір.		Бондар						
Реценз								
Н. Контр.		Нечаєв						
Затверд.		Рязанцев						
					Літ.		Арк.	Акрушів
					Кафедра ТМ гр. ПМ-22			

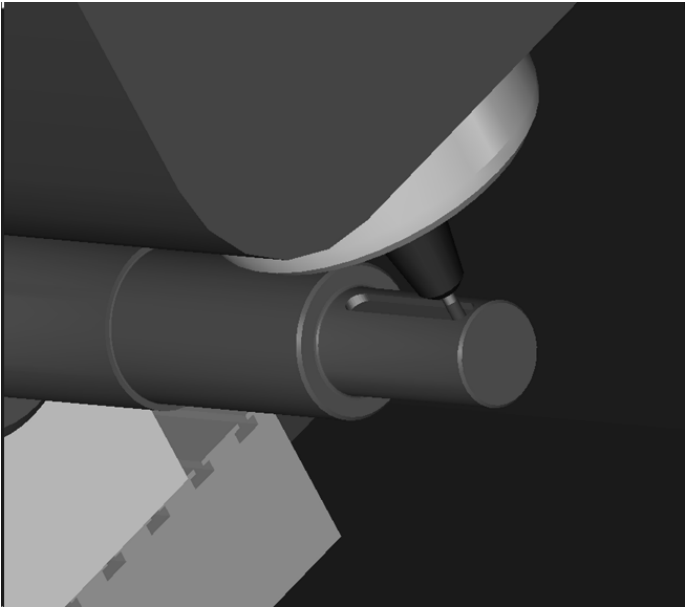
КНУ.КБР.131.26.1-07.МПМО



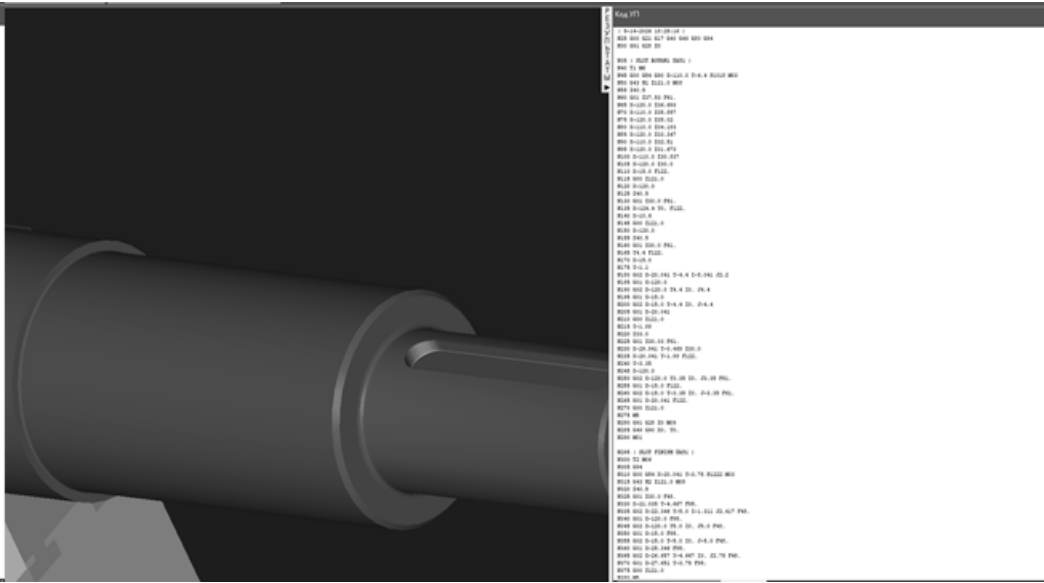
Загальний вигляд заготовки



Загальний вигляд траекторії пеєміщення інструменту



Процес симуляції обробки отвору на верстаті



Результат обробки деталі та керуюча програма

					КНУ.КБР.131.26.1-07.МПМО			
					Моделювання процесу механічної обробки	Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				1:2,5
Разраб.		Дужченко						
Пров.		Бондар						
Т.контр.						Лист	Листов	1
Н.контр.		Нечаєв				каф. ТМ гр. ПМ-22		
Утв.		Рязанцев						
Копировал						Формат А3		

					КНУ.КБР.131.26.1-07.МО.2D.3А			
Змін	Арку	№ Документа	Підпис	Дата				
Розроб.		Дужченко			Моделювання оброобки		Літ.	Арк.
Перевір.		Бондар						Акрушів
Реценз								
Н. Контр.		Нечаєв					Кафедра ТМ гр. ПМ-22	
Затверд.		Рязанцев						