

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 «Вал» та обґрунтування параметрів різального інструменту за допомогою CAD/CAM/CAE систем

Виконав: здобувач групи ПМ-22ск
Пироженко А.О.

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

Кривий Ріг
2025 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 «Вал» та обґрунтування параметрів різального інструменту за допомогою CAD/CAM/CAE систем

Виконав здобувач гр. ПМ-22ск

_____ (підпис)

Андрій ПИРОЖЕНКО

Керівник КБР

_____ (підпис)

Олена БОНДАР

Нормоконтроль

_____ (підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

_____ (підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

м. Кривий Ріг
2025 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-22ск Пироженко Андрія Олеговича

1. Тема: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Вал» та обґрунтування параметрів різального інструменту за допомогою CAD/CAM/CAE систем

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

Затверджена наказом по КНУ № _____ від « ____ » _____ 2025 р.

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи « ____ » _____ 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Найменування вузла. 2. Кресленник деталі «Вал». 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. Вал. 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	
2.	Технічне завдання та аналіз вихідних даних	
3.	Призначення об'єкту виробництва	
4.	Аналіз технологічності деталі.	
5.	Кресленник деталі (А1-А4).	
6.	Вибір та обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі.	
7.	Розробка технологічного маршруту обробки деталі.	
8.	Вибір параметрів ріжучої частини інструментів.	
9.	Розрахунок конструктивних параметрів ріжучої частини інструменту.	
10.	Вибір розмірів ріжучого інструменту.	
11.	Кресленник спеціального ріжучого інструменту (А2-А4).	
12.	Кресленник з інженерним аналізом спеціального різального інструменту	
13.	Вибір допоміжних інструментів.	
14.	Розробка та креслення об'єднаного верстатно-інструментального (А1-А2)	
15.	Моделювання та програмування операцій механічної обробки	
16.	Кресленник змодельованого процесу обробки (А1-А2)	
17.	Організаційно-економічна підготовка виробництва.	
18.	Висновки	
19.	Оформлення РПЗ	
20.	Попередній захист	

Дата видачі завдання: « ____ » _____ 2025 р.

Завдання видав керівник КБР _____

/ Бондар О.В./

Завдання отримав
здобувач освіти _____

/ Пироженко А.О./

[illegible]

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка до КБР (кваліфікаційної бакалаврської роботи) налічує 54 сторінки, 38 рисунків та 12 таблиць і присвячена конструкторсько-технологічній підготовці виготовлення деталі «Вал» та обґрунтуванню параметрів різального інструменту за допомогою CAD/CAE систем.

В ході роботи було проведено розрахунок та проєктування спеціального металорізального інструменту та його подальший інженерний аналіз. Метою роботи також було програмування операцій фрезерної обробки шпонкового пазу та аналіз економічних показників з метою виявлення доцільності впровадження у виробництво токарного верстату з ЧПК. Також було розглянуто вплив продуктів металообробки, таких як стружка та мастильно-охолоджуючі рідини (МОР) на працівників та навколишнє середовище і запропоновано методи для покращення екології виробництва та підвищення безпеки на робочому місці.

Для виконання роботи було застосовано каталоги сучасного металорізального інструменту, актуальні державні стандарти та прогресивне програмне забезпечення, таке як SOLIDWORKS, зокрема з додатком «Simulation» для проведення інженерного аналізу, та Autodesk FeatureCAM для програмування механічної обробки.

Інструментальне налагодження для токарних операцій обробки деталі «Вал» на токарному верстаті з ЧПК AVIAturn 35 стане важливим додатком в разі заміни старих верстатів на більш сучасні, адже наглядно демонструє зручність виконання підготовчих та проміжних операцій, таких як заміна різців або пластинок, та модульність інструментального комплексу.

ВАЛ, ШПОНКОВЕ З'ЄДНАННЯ, ФРЕЗА ЧЕРВ'ЯЧНА, SOLIDWORKS, ЧПК, ПРОГРАМУВАННЯ, ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ

					КНУ.КБР.131.25.1-07.Р		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Реферат		
Розроб.		Пироженко					
Перевір.		Бондар					
Реценз.							
Н. Контр.		Нечаєв					
Зав. каф.		Рязанцев			Каф. ТМ, гр. ПМ-22ск		
					Літ.	Арк.	Аркуші
					Н		

ABSTRACT

The calculation and explanatory note to the BQT (bachelor's qualification thesis) consists of 54 pages, 38 figures and 12 tables and is devoted to the design and technological preparation for the manufacture of the "Shaft" part and the justification of the cutting tool parameters using CAD/CAE systems.

During the making, the calculation and design of a special machining tool and its subsequent engineering analysis were carried out. The purpose of the work was also to program keyway milling operations and analyze economic indicators in order to identify the feasibility of introducing a CNC lathe into production. The impact of metalworking products, such as chips and cooling fluids (CFLs), on workers and the environment was also considered, and methods were proposed to improve the ecology of production and increase safety on the workplace.

To perform the work, catalogs of modern machining tools, up-to-date country standards and progressive software such as SOLIDWORKS, in particular with the "Simulation" add-on for engineering analysis, and Autodesk FeatureCAM for CNC programming were used.

Tool setup for turning operations of the "Shaft" part on the AVIAturn 35 CNC lathe will be an important addition in case of replacing old turning equipment with modern one, as it clearly demonstrates the convenience of performing preparatory and intermediate operations, such as replacing cutters or inserts, and the modularity of the tool complex.

SHAFT, KEY CONNECTION, WORM HOB, SOLIDWORKS, CNC, PROGRAMMING, ENGINEERING ANALYSIS

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-07.Р</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЕТАЛІ	10
1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних	10
1.2 Призначення об'єкту виробництва, як елементу вузла, механізму машини з характеристикою будови, принципів роботи, характеристикою кінематичних та силових ланцюгів та передач машини	12
1.3 Розрахунок параметрів точності шпонкового з'єднання	13
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ	16
2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів заміни	16
2.2 Аналіз якості поверхонь деталей	17
2.3 Технічний контроль робочого креслення	19
2.4 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання	20
3 ВИБІР РІЗУЧИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ	26
3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі	26
3.2 Вибір інструменту з обробки поверхонь деталі	26
3.3 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту	34
3.4 Вибір типорозмірів допоміжних інструментів	35
3.5 Компоновка інструментального комплексу та розробка інструментального налагодження на технологічну операцію деталі	36

					КНУ.КБР.131.25.1-07.3			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст			
Розроб.		Пироженко						
Перевір.		Бондар						
Реценз.								
Н. Контр.		Нечаєв						
Зав. каф.		Рязанцев						
					Літ.	Арк.	Аркуші	
					Н			
					Каф ТМ, гр. ПМ-22ск			

4 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	38
4.1 Розрахунок та проєктування спеціального різального інструменту	38
4.2. Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	44
5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	46
5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, налаштування постпроцесора.....	46
5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм	46
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА	49
6.1 Розрахунок ключових техніко-економічних показників	49
6.2 Охорона праці та екологія виробництва.....	50
ВИСНОВОК.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

					КНУ.КБР.131.25.1-07.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В сучасному світі машинобудування є невід'ємною складовою майже будь-якої сфери діяльності людини, від прецизійного медичного обладнання до машин гірничо-видобувної промисловості. Передові вимоги до деталей значно підняли планку точності та надійності металорізального обладнання, чого можливо досягнути завдяки ретельному інженерному аналізу та впровадженню інноваційних методів проєктування деталей та обробки металів.

Метою даної кваліфікаційної бакалаврської роботи була конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення валу коробки швидкостей токарного верстата. Основними етапами роботи стали аналіз конструкції та службового призначення деталі, підбір стандартного та проєктування спеціального різального інструменту, симуляція обробки деталі на верстаті та організаційно-економічну підготовку виробництва.

Було проведено аналіз поверхонь деталі для коректного підбору стандартного різального інструменту, виконано розрахунок та інженерний аналіз черв'ячної фрези та розглянуто деякі питання екології та охорони праці.

Проведені дослідження дозволять підвищити якість та продуктивність виробництва, знизити фінансові витрати на металообробку та покращити умови праці. Отримані в ході роботи результати можуть бути основою запровадження новітніх методів обробки деталей та вдосконалення технологічних процесів в машинобудуванні.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-07.В</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Вступ</i>		
Розроб.		<i>Пираженко</i>					
Перевір.		<i>Бондар</i>					
Реценз.							
Н. Контр.		<i>Нечаєв</i>					
Зав. каф.		<i>Рязанцев</i>			Літ. Арк. Аркушів Н Каф. ТМ, гр. ПМ-22ск		

					КНУ.КБР.131.25.1-07.01.АСПД			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз службового призначення деталі	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Пироженко				Н		
Перевір.		Бондар						
Реценз.								
Н. Контр.		Нечаєв						
Зав. каф.		Рязанцев				Каф. ТМ, гр. ПМ-22ск		

Вал містить шпонковий паз довжиною $165H15^{(+1,6)}$, шириною $10N9_{(-0,036)}$ та глибиною $5^{(+0,2)}$ зображений на перерізі В-В, та шліці зовнішні D-6x28x32f7x7f7 з 6 зубами та способом центрування по зовнішньому діаметру. Конфігурація шліців детально зображена на перерізі Г-Г та виді Д, що свідчить про виконання обробки шліців черв'ячною фрезою. Також вал містить фаски розміром 2 мм з кутом 45° .

Креслення має виносні види А і Б для зображення розмірів канавок на валу.

Розмір партії виготовлення – 800 шт./рік.

Креслення є достатньо деталізованим та має усі необхідні параметри та технічні вимоги для виготовлення деталі «Вал».

В середовищі програмного забезпечення SOLIDWORKS було виготовлено 3D модель деталі «Вал», що зображена на рисунку 1.2.

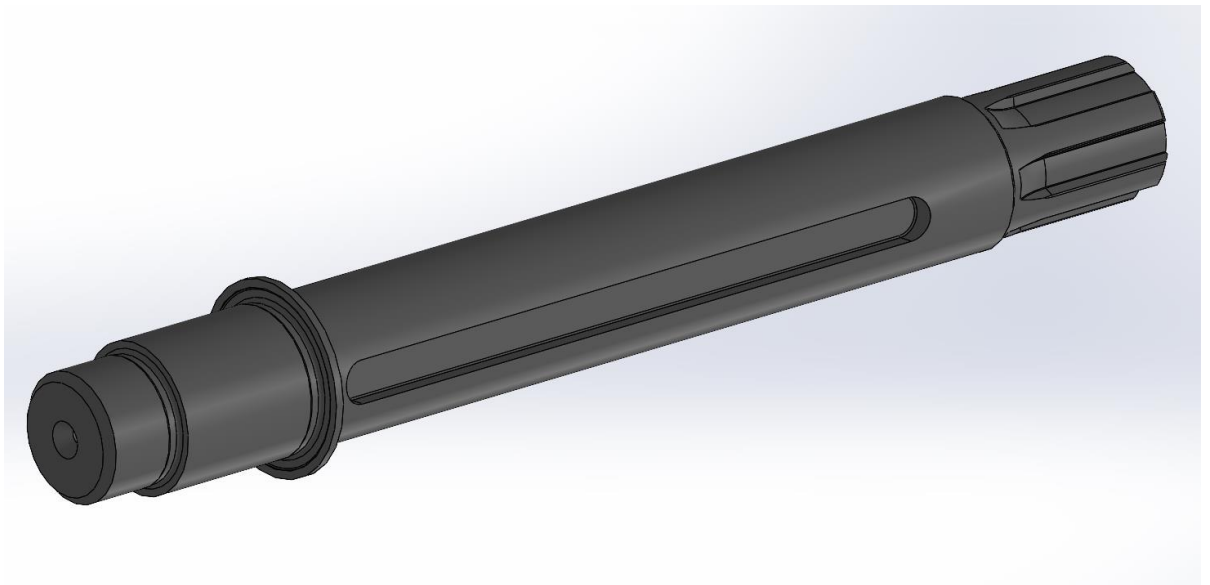


Рисунок 1.2 – 3D-модель деталі

					КНУ.КБР.131.25.1-07.01.АСПД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Заданий вал є частиною такого вузла як коробка швидкостей шпинделя верстата 16K20Ф3С32 та відповідає за передачу крутного моменту від електродвигуна до робочого шпинделя. Коробка швидкостей дозволяє змінювати швидкість обертання шпинделя з метою обробки різних матеріалів та одержання необхідної якості поверхонь деталі.



Рисунок 1.3 – Коробка швидкостей верстату 16K20Ф3С32

Принцип роботи коробки швидкостей полягає в зміні передаточних чисел шляхом прямого введення зубчатих коліс в зачеплення або підключення зубчатих коліс до валів за допомогою муфт. Верстатник має можливість вибрати необхідну «передачу» за допомогою інтерфейсу верстата (важелі, кнопки, сенсорний екран тощо), де кожна «передача» має відповідну фіксовану швидкість обертання шпинделя.

					КНУ.КБР.131.25.1-07.01.АСПД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Розрахунок параметрів точності шпонкового з'єднання

Було проведено розрахунок шпонкового з'єднання $\phi 35-10 \times 8-2$ в системі «вал-шпонка».

Вихідні дані:

d – діаметр ступені валу зі шпонковим пазом - $\phi 35k6$;

B – ширина шпонкового пазу – $10N9$;

t_1 – глибина шпонкового пазу – $5H14$;

L – довжина шпонкового пазу – $165H15$;

h – висота шпонки за ДСТУ 23360:2008 – $8h11$;

b – ширина шпонки – $10h9$;

l – довжина шпонки – $165h14$;

група полів допусків – друга (нормальне з'єднання);

виконання шпонки – перше.

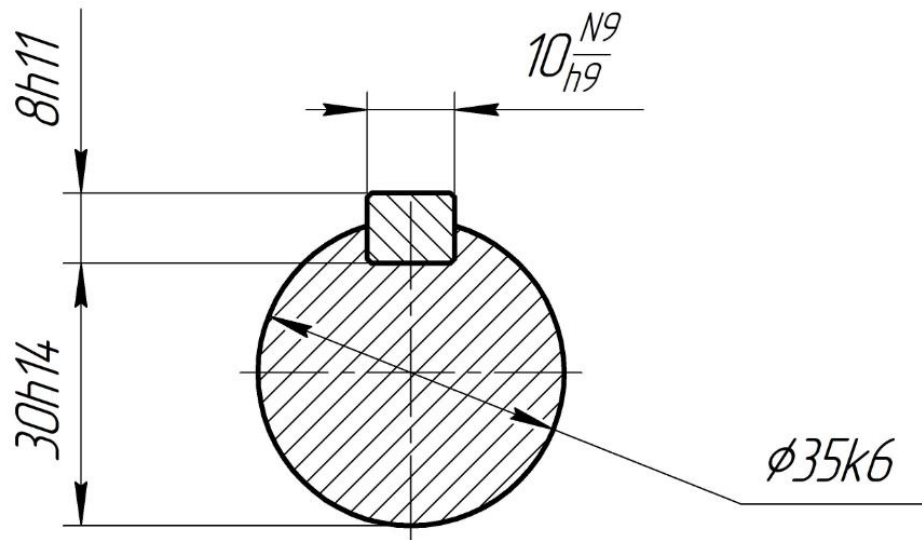


Рисунок 1.4 – Ескіз шпонкового з'єднання

					КНУ.КБР.131.25.1-07.01.АСПД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

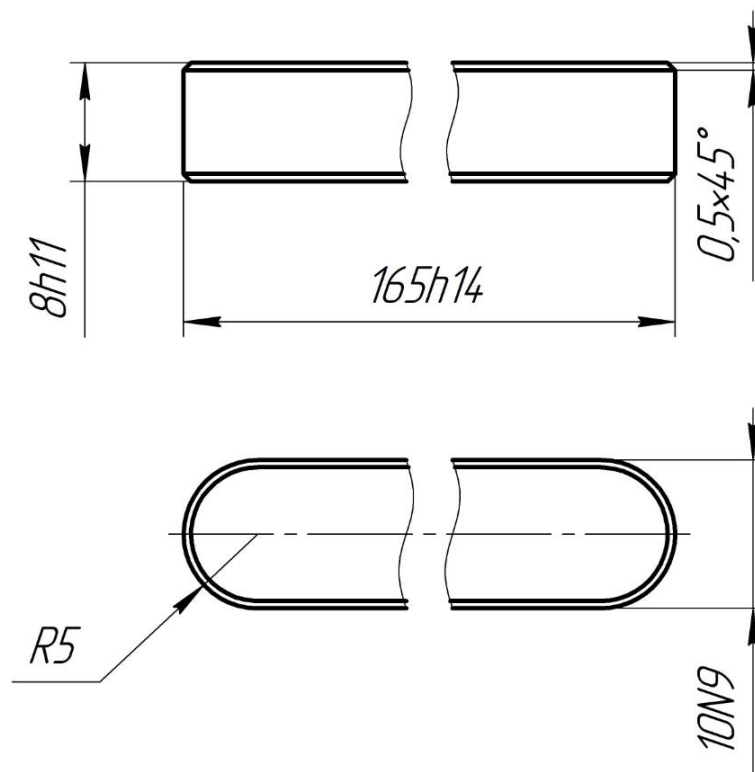


Рисунок 1.5 – Креслення шпонки 10 х 8 х 165 ДСТУ 23360:2008 [1]

Згідно загальноприйнятій системі допусків та посадок, шпонкові з'єднання передбачають утворення посадок тільки за шириною, а за довжиною та висотою гарантовано забезпечується зазор. Проведено розрахунки граничних відхилень та величин поля допуску шпонки та шпонкового пазу валу:

$$b = 10h9; es = 0; ei = -36 \text{ мкм};$$

$$b_{max} = b + es = 10 + 0 = 10,000 \text{ мм}; \quad (1.1)$$

$$b_{min} = b + ei = 10 + (-0,036) = 9,964 \text{ мм}; \quad (1.2)$$

$$B = 10N9; ES = 0; EI = -36 \text{ мкм};$$

$$B_{max} = B + ES = 10 + 0 = 10,000 \text{ мм}; \quad (1.3)$$

$$B_{min} = B + EI = 10 + (-0,036) = 9,964 \text{ мм}; \quad (1.4)$$

$$Tb = b_{max} - b_{min} = 10 - 9,964 = 0,036 \text{ мм}; \quad (1.5)$$

$$TB = B_{max} - B_{min} = 10 - 9,964 = 0,036 \text{ мм}; \quad (1.6)$$

					КНУ.КБР.131.25.1-07.01.АСПД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{max} = b_{max} - B_{min} = 10 - 9,964 = 0,036 \text{ мм} = 36 \text{ мкм}; \quad (1.7)$$

$$S_{max} = B_{max} - b_{min} = 10 - 9,964 = 0,036 \text{ мм} = 36 \text{ мкм}; \quad (1.8)$$

Результати розрахунків зображено на схемі полів допусків на рис. 1.6.

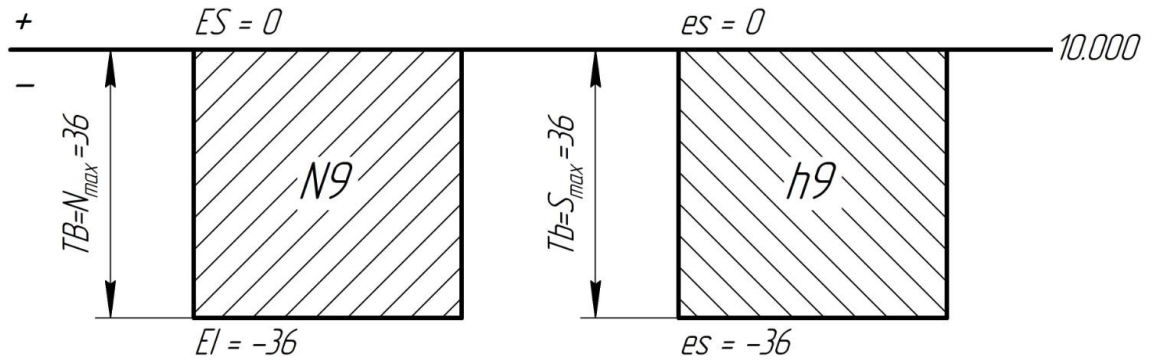


Рисунок 1.6 – Схема полів допусків шпонкового з'єднання

					КНУ.КБР.131.25.1-07.01.АСПД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін

Вал – деталь машини, механізму, приладу циліндричної або конічної форми, що призначена для передачі крутного моменту. Задана деталь «Вал» своєю конструкцією передбачає передачу крутного моменту через шпонкове та шліцьове з'єднання, до яких можуть пред'являтися особливі вимоги міцності та жорсткості.

Згідно з цим, обираємо основним матеріалом сталь конструкційну леговану марки 40Х. Дані про матеріал наведено у таблицях 2.1 та 2.2. [2]

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 40Х

Хімічний елемент	%
Вуглець (C)	0,36 – 0,44
Сіліцій (Si)	0,17 – 0,37
Марганець (Mn)	0,5 – 0,8
Хром (Cr)	0,8 – 1,1
Нікель (Ni)	до 0,3
Купрум (Cu)	до 0,3
Фосфор (P), не більше	0,035
Сірка (S), не більше	0,035

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі 40Х

Сортамент	Розмір, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ_b , %	ψ , %	Термообробка
Прутки 40Х	Ø50	780	980	10	45	Гартування 860°C, охолодження в маслі. Відпуск 500°C, охолодження в воді

Як альтернативу може бути запропоновано наступні матеріали: сталь конструкційна легована марки 45Х та сталь конструкційна легована марки 40ХН.

Таблиця 2.3 – Хімічний склад сталі 45Х

Хімічний елемент	%
Вуглець (C)	0,41 – 0,49
Сіліцій (Si)	0,17 – 0,37
Марганець (Mn)	0,5 – 0,8
Хром (Cr)	0,8 – 1,1
Нікель (Ni)	до 0,3
Купрум (Cu)	до 0,3
Фосфор (P), не більше	0,035
Сірка (S), не більше	0,035

					КНУ.КБР.131.25.1-07.02.ТПВД		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Пираженко			Технологічна підготовка виробництва деталі		
Перевір.		Бондар					
Реценз.							
Н. Контр.		Нечаєв					
Зав. каф.		Рязанцев					
					Літ.	Арк.	Аркушів
					Н		
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22ск		

Таблиця 2.4 – Механічні властивості сталі 45Х

Сортамент	Розмір, мм	σ_b , МПа	δ_b , %	ψ , %	Термообробка
Прутки 45Х	Ø50	1030	9	45	Гартування 840°C, охолодження в маслі. Відпуск 520°C, охолодження в воді

Таблиця 2.5 – Хімічний склад сталі 40ХН

Хімічний елемент	%
Вуглець (С)	0,36 – 0,44
Сіліційум (Si)	0,17 – 0,37
Марганець (Mn)	0,5 – 0,8
Хром (Cr)	0,45 – 0,75
Нікель (Ni)	1 – 1,4
Купрум (Cu)	до 0,3
Фосфор (P), не більше	0,035
Сірка (S), не більше	0,035

Таблиця 2.6 – Механічні властивості сталі 40ХН

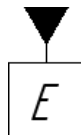
Сортамент	Розмір, мм	σ_b , МПа	δ_b , %	ψ , %	Термообробка
Прутки 40ХН	Ø50	980	11	45	Гартування та відпуск

2.2 Аналіз якості поверхонь деталей

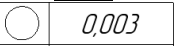
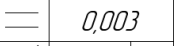
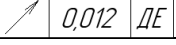
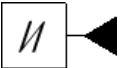
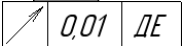
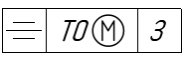
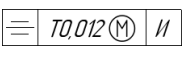
З урахуванням вимог точності та якості було вибрано технологічні методи обробки поверхонь деталі «Вал», дані занесено в таблицю 2.7.

					КНУ.КБР.131.25.1-07.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 – Технологічні методи з обробки поверхонь

№з/п	Розмір, мм	Шорсткість Ra, мкм	Допуск, IT	Технологічні методи обробки	Примітка						
1	2	3	4	5	6						
1, 10	L 300	12,5	h14								
		12,5	h14	Чорнове підрізання торця							
2	ø 30	0,8	k6		<table border="1" data-bbox="1331 613 1498 748"><tr><td></td><td>0,0025</td></tr><tr><td></td><td>0,0025</td></tr><tr><td></td><td>0,01 DE</td></tr></table>		0,0025		0,0025		0,01 DE
			0,0025								
			0,0025								
			0,01 DE								
		12,5	k14	Чорнове точіння							
		6,3	k11	Напівчистове точіння							
3,2	k9	Чистове точіння									
1,6	k7	Чорнове кругле шліфування									
0,8	k6	Чистове кругле шліфування									
3	L 40	1,6	h9								
		12,5	h14	Чорнове підрізання торця							
		6,3	h11	Напівчистове підрізання торця							
		3,2	h9	Чистове підрізання торця							
		1,6	h9	Платке шліфування							
4	ø 35	0,8	h14								
		12,5	h14	Чорнове точіння							
		6,3	h14	Напівчистове точіння							
		3,2	h14	Чистове точіння							
		1,6	h14	Чорнове кругле шліфування							
		0,8	h14	Чистове кругле шліфування							
5	L 2	12,5	h14								
		12,5	h14	Чорнове підрізання торця							
6	ø 45	12,5	h14								
		12,5	h14	Чорнове точіння							
7	L 240	12,5	h14								
		12,5	h14	Чорнове підрізання торця							

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4	5	6
8	ø 35	0,8	k6		    
		12,5	k14	Чорнове точіння	
		6,3	k11	Напівчистове точіння	
		3,2	k9	Чистове точіння	
		1,6	k7	Попереднє шліфування	
		0,8	k6	Чистове шліфування	
9	ø 32	0,8	f7		  <i>D-6x28x32f7x7f7</i>
		12,5	f14	Чорнове точіння	
		6,3	f11	Напівчистове точіння	
		3,2	f9	Чистове точіння	
		1,6	f7	Попереднє шліфування	
		0,8	f7	Чистове шліфування	
11, 14	ø 4	12,5	H14		
		12,5	H14	Свердління	
12, 13	2x45°	12,5	h14		
		12,5	h14	Чорнове точіння фаски	
15, 16	b3	12,5	h14		
		12,5	h14	Чорнове точіння канавки	
17	b10	3,2	N9		
		3,2	N9	Фрезерування пазу	
18	b7	1,6	f7		
		3,2	h9	Нарізання шліців	
		1,6	f7	Шліфування	

2.3 Технічний контроль робочого креслення

Робоче креслення було виконане в програмному забезпеченні SOLIDWORKS на аркуші формату A3 та наявне в альбомі креслень кваліфікаційної бакалаврської роботи. На ньому зображені головний та виносні види деталі, переріз зовнішніх шліців та розріз шпонкового пазу. На кресленні зазначені всі розміри, параметри шорсткості та відхилення форми поверхонь, невказана шорсткість та технічні вимоги, необхідні для виготовлення та контролю якості деталі.

					КНУ.КБР.131.25.1-07.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання

Було складено маршрутно-технологічну карту виготовлення деталі «Вал».

Таблиця 2.8 – Маршрутна карта

№	Тип операції	Тип та модель верстату	Примітки
005	Заготівельна		Відрізання прокату
010	Свердлильна	Горизонтально-токарний верстат з ЧПК	Свердління центрових отворів А4
015	Токарна	Горизонтально-токарний верстат з ЧПК	Підрізання торців, чорнове та напів-/чистове точіння зовнішніх поверхонь, канавок
020	Фрезерна	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК	Фрезерування шпонкового пазу
025	Фрезерна	Зубофрезерний верстат з ЧПК	Фрезерування зовнішніх шліців
030	Шліфувальна	Круглошліфувальний верстат	Шліфування необхідних поверхонь
035	Контрольна	Контрольний стіл	Технічний контроль
040	Пакування		Нанесення антикорозійного покриття

З урахуванням раніше визначених технологічних методів обробки поверхонь деталі «Вал» було підібрано типи металорізального обладнання та занесено в таблицю 2.9.

					КНУ.КБР.131.25.1-07.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для токарних операцій було обрано токарний верстат з ЧПК моделі AVIA серії AVIAturn 35.



Рисунок 2.1 – Токарний верстат з ЧПК моделі AVIA серії AVIAturn 35.

Технічні характеристики

- Максимальний діаметр обробки – 350 мм
- Максимальна довжина зони обробки – 600 мм
- Максимальний діаметр заготовки – 65 мм
- Конус шпинделя – A2-6
- Максимальна швидкість шпинделя – 5000 об/хв
- Діаметр 3-кулачкового патрону – 210 мм
- Діаметр отвору шпинделя – 75,5 мм
- Максимальна потужність – 11 кВт
- Максимальний крутний момент – 126 Нм
- Переміщення по осі:
 - X – -10/210 мм
 - Z – 610 мм
- Револьверна головка:
 - кількість позицій інструменту – 12 шт
 - інструментальний диск – VDI 30
 - рукоятка інструменту – 20x20 мм
 - максимальний діаметр свердлильної оправки – 32 мм

					КНУ.КБР.131.25.1-07.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Задня бабка:

- переміщення – 500 мм
- максимальне осьове навантаження – 5000 Н
- конус задньої бабка – Морзе №5

Розміри верстату (ДхШхВ) – 2860х1660х2120 мм

Загальна вага – 3850 кг

Загальна потужність – 24 кВт

Фрезерування шпонкового пазу виконується на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК моделі HAAS DT-1.



Рисунок 2.2 – Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК моделі HAAS DT-1

Технічні характеристики

Розмір столу – 660х381 мм

Максимальна вага на столі – 113 кг

Переміщення по осі:

- X – 508 мм
- Y – 406 мм
- Z – 394 мм

					КНУ.КБР.131.25.1-07.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конус шпинделя – BT30

Максимальна швидкість обертання шпинделя – 10000 об/хв

Мотор шпинделя – 11,3 кВт

Максимальний крутний момент – 62 Нм

Максимальний діаметр інструменту – 127/51 мм

Максимальна довжина інструменту – 178 мм

Розміри верстату (ДхШхВ) – 2454х2312х2583 мм

Загальна вага – 2336 кг

Шліфувальні операції проводимо на універсальному круглошліфувальному верстаті Bernardo URS 500 N.



Рисунок 1.3 – Універсальний круглошліфувальний верстат Bernardo URS 500 N

Технічні характеристики

Діаметр зовнішнього шліфування – 8-200 мм

Діаметр внутрішнього шліфування – 13-100 мм

Максимальна глибина внутрішнього шліфування – 125 мм

Діапазон повороту робочого столу – від +3° до -9°

Швидкість обертання шпинделя – 25-220 об/хв

Конус шпинделя – Морзе №4

					КНУ.КБР.131.25.1-07.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість обертання шліфувального шпинделя:

- зовнішній – 1670 об/хв

- внутрішній – 20000 об/хв

Діапазон повороту шліфувальної бабки – $\pm 30^\circ$

Хід шліфувальної головки – 200 мм

Конус задньої бабки – Морзе №4

Потужність двигунів:

- зовнішнього шліфування – 4 кВт

- внутрішнього шліфування – 0,75 кВт

Розміри верстату (ДхШхВ) – 2150х1450х1700 мм

Вага верстату – 2170 кг

Нарізання шліців проводимо на зубофрезерному верстаті з ЧПК GearSpect SF 160 CNC



Рисунок 1.4 – Зубофрезерний верстат з ЧПК GearSpect SF 160 CNC

Технічні характеристики

Найбільший діаметр обробки зовнішнього зачеплення – 160 мм

Максимальний модуль – 2,5

Найбільша ширина зубчатого вінця – 140 мм

Максимальний еліптичний кут – $\pm 45^\circ$

Максимальна довжина між центрами – 200 мм

Максимальний діаметр хобу – 50 мм

Максимальна довжина хобу – 60 мм

Максимальне переміщення хобу – 60 мм

					КНУ.КБР.131.25.1-07.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Внутрішній конус шпинделя – НК 40

Відстань від вісі хобу до вісі стола – 0-110 мм

Швидкість обертання шпинделя хобу – 20-2000 об/хв

Швидкість обертання стола – 600 об/хв

Споживана верстатом потужність – 9 кВт

Вага верстату – 3000 кг

Розміри верстату (ДхШхВ) – 2260х1650х2100 мм

Таблиця 2.9 – Вибір металорізальних верстатів та інструментів по обробці поверхонь деталі

№	Найменування операції	Тип і модель верстату
1	2	3
1, 3, 5, 7, 10	Чорнове, напів-/чистове підрізання торця	Токарний верстат з ЧПК AVIAturn 35
2, 4, 6, 8, 9, 11, 14	Чорнове, напів-/чистове точіння	
12, 13	Свердління	
15, 16	Точіння фаски	
	Точіння канавки	
17	Фрезерування шпонкового пазу	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК HAAS DT-1
18	Фрезерування шліців	Зубофрезерний верстат з ЧПК GearSpect SF 160 CNC
2, 3, 4, 8, 9, 18	Шліфування попереднє	Універсальний круглошліфувальний верстат Bernardo URS 500 N
2, 4, 8, 9	Шліфування чистове	

					КНУ.КБР.131.25.1-07.03.ВРДІ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вибір ріжучих та допоміжних інструментів	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Пироженко				Н		
Перевір.		Бондар						
Реценз.								
Н. Контр.		Нечаєв						
Зав. каф.		Рязанцев				Каф. ТМ, гр. ПМ-22ск		

Позиції: 1, 10 – Чорнове підрізання торця:

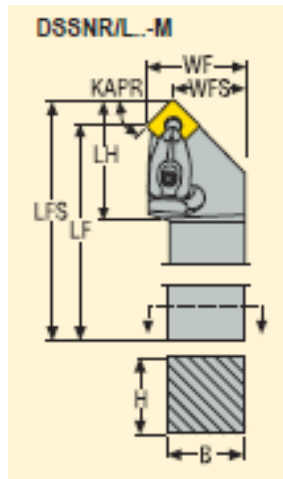


Рисунок 3.1 – Державка DSSNR2020K12-M [3, с. 236]

Геометричні параметри: $H=20$ мм; $B=20$ мм; $LFS=134,3$ мм; $LH=39$ мм;
 $WF=25$ мм.

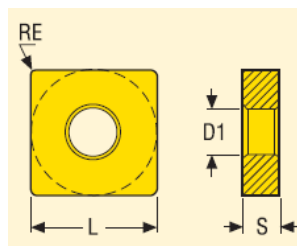


Рисунок 3.2 – Пластина SNMG120412-M5; CVD покриття: TP40 [3, с. 451]

Геометричні параметри: $L=12,70$ мм; $S=4,76$ мм; $RE=1,2$ мм.

					КНУ.КБР.131.25.1-07.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позиції 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 – Чорнове точіння:

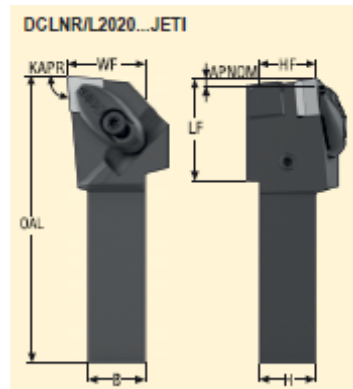


Рисунок 3.3 – Державка DCLNR2020X12JETI [3, с. 207]

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

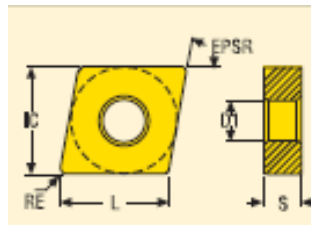


Рисунок 3.4 – Пластина CNMG120412-M5; CVD-покриття: TP200 [3, с. 428]

Геометричні параметри: IC=12,7 мм; L=12,9 мм; S=4,76 мм; RE=1,2 мм;
D₁=5,15 мм; EPSR = 80°.

Позиції: 2, 4, 8, 9 – Чистове точіння:

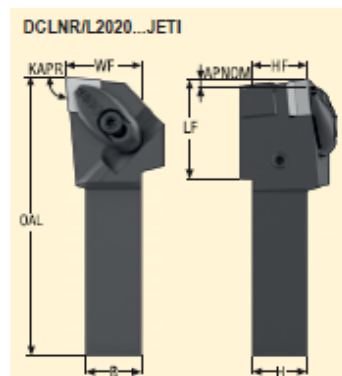


Рисунок 3.5 – Державка DCLNR2020X12JETI [3, с. 207]

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

					КНУ.КБР.131.25.1-07.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

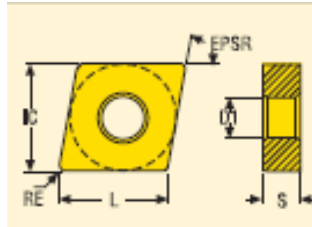


Рисунок 3.6 – Пластина CNMG120412-MF2; CVD-покриття: TP200 [3, с. 426]

Геометричні параметри: IC=12,7 мм; L=12,9 мм; S=4,76 мм; RE=1,2 мм;
D₁=5,15 мм.

Позиції: 11, 14 – Свердління:

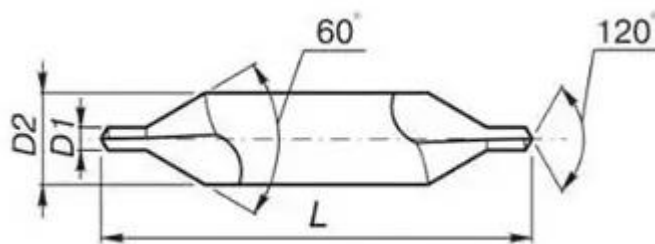


Рисунок 3.7 – Свердло центрувальне А4 ДСТУ ISO 866:2018 [8]

Геометричні параметри: D₁=4 мм; D₂=10 мм; L=56 мм.

Позиції: 12, 13 – Точіння фаски:

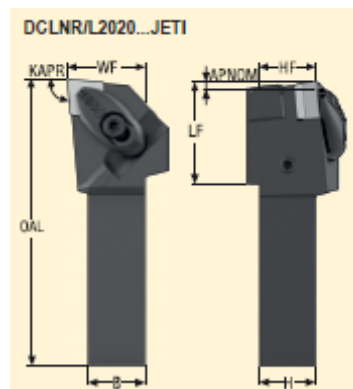


Рисунок 3.8 – Державка DCLNR2020X12JET1 [3, с. 207]

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

					КНУ.КБР.131.25.1-07.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

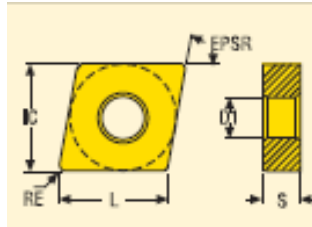


Рисунок 3.9 – Пластина CNMG120412-M5; CVD-покриття: TP200 [3, с. 428]

Геометричні параметри: IC=12,7 мм; L=12,9 мм; S=4,76 мм; RE=1,2 мм;
D₁=5,15 мм.

Позиції: 15, 16 – Точіння канавки:

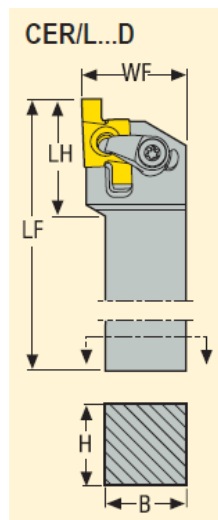


Рисунок 3.10 – Державка CER2020K10D [3, с. 713]

Геометричні параметри: H=20 мм; B=20 мм; LF=128 мм; LH=24,5 мм; WF=25 мм.

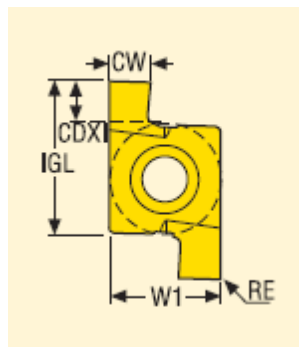


Рисунок 3.11 – Пластинка 14ER3.0FG; PVD покриття: CP 500 [3, с. 721]

Геометричні параметри: W₁= 9,525 мм; IGL=14 мм.

					КНУ.КБР.131.25.1-07.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позиції: 17 – Фрезерування шпонкового пазу:

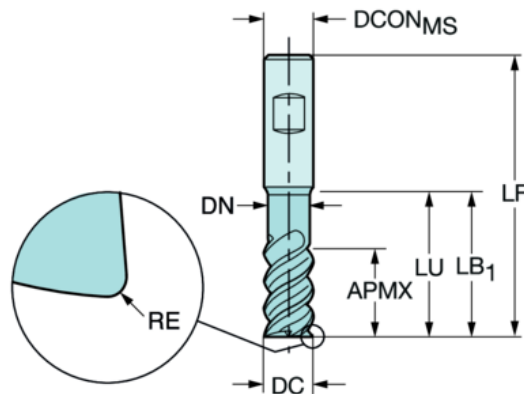


Рисунок 3.12 – Суцільна кінцева фреза 2F342-0800-200-PD P2BM [5]

Геометричні параметри: $DC=8$ мм; $LF=63$ мм; $APMX=18$ мм; $DCON_{MS}=8$ мм.

Позиції: 2, 4, 8, 9 – Попереднє шліфування:

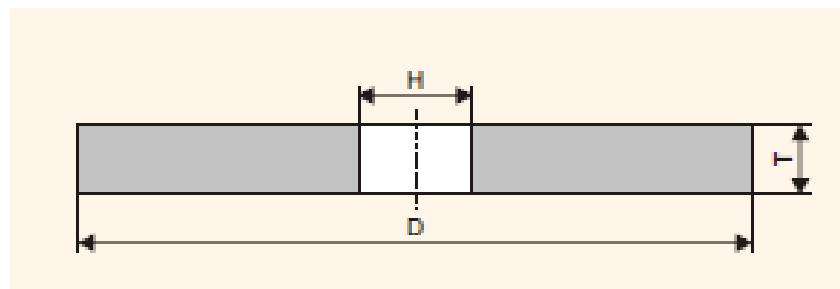


Рисунок 3.13 – Коло шліфувальне
1-350x50x203-25A-40-O-6-V-33-A-1[7, с. 123]

Параметри шліфувального кола: $D=350$ мм; $T=50$ мм; $H=203$ мм; матеріал – 25A; зернистість – F40; твердість – O; $v=33$ м/с; клас точності – A; клас неурівноваженості – 1.

					КНУ.КБР.131.25.1-07.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позиції: 2, 4, 8, 9 – Чистове шліфування:

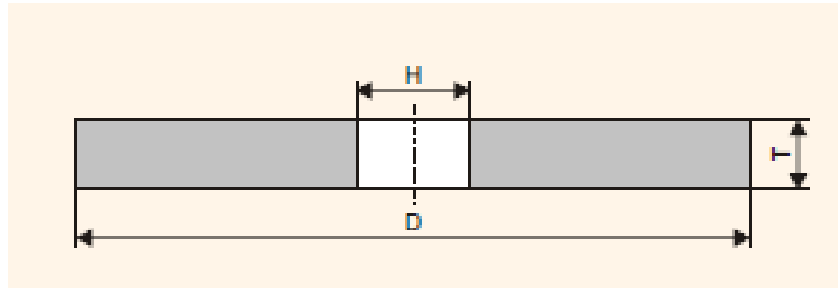


Рисунок 3.13 – Коло шліфувальне
1-350x50x203-25A-16-K-6-V-33-AA-1[7, с. 123]

Параметри шліфувального кола: $D=350$ мм; $T=50$ мм; $H=203$ мм; матеріал – 25A; зернистість – F90; твердість – K; $v=33$ м/с; клас точності – AA; клас неурівноваженості – 1.

Таблиця 3.2 – Параметри різальної частини інструментів

№ з/п поверхні	Тип інструменту	Матеріал різальної частини інструменту	Матеріал державки (корпуса, хвостовика) інструменту	Геометричні параметри різальної частини інструменту
1	2	3	4	5
1	Підрізний різець	CVD TP40	Сталь 40	$L=12,70$ мм; $S=4,76$ мм; $RE=1,2$ мм
2	Прохідний різець	CVD TP200	Сталь 40	$IC=12,7$ мм; $L=12,9$ мм; $S=4,76$ мм; $RE=1,2$ мм; $D_1=5,15$ мм; $EPSR = 80^\circ$
3	Прохідний різець	CVD TP200	Сталь 40	$IC=12,7$ мм; $L=12,9$ мм; $S=4,76$ мм; $RE=1,2$ мм; $D_1=5,15$ мм; $EPSR = 80^\circ$
4	Прохідний різець	CVD TP200	Сталь 40	$IC=12,7$ мм; $L=12,9$ мм; $S=4,76$ мм; $RE=1,2$ мм; $D_1=5,15$ мм; $EPSR = 80^\circ$

					КНУ.КБР.131.25.1-07.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.2.

1	2	3	4	5
5	Прохідний різець	CVD TP200	Сталь 40	IC=12,7 мм; L=12,9 мм; S=4,76 мм; RE=1,2 мм; D ₁ =5,15 мм; EPSR = 80°
6	Прохідний різець	CVD TP200	Сталь 40	IC=12,7 мм; L=12,9 мм; S=4,76 мм; RE=1,2 мм; D ₁ =5,15 мм; EPSR = 80°
7	Прохідний різець	CVD TP200	Сталь 40	IC=12,7 мм; L=12,9 мм; S=4,76 мм; RE=1,2 мм; D ₁ =5,15 мм; EPSR = 80°
8	Прохідний різець	CVD TP200	Сталь 40	IC=12,7 мм; L=12,9 мм; S=4,76 мм; RE=1,2 мм; D ₁ =5,15 мм; EPSR = 80°
9	Прохідний різець	CVD TP200	Сталь 40	IC=12,7 мм; L=12,9 мм; S=4,76 мм; RE=1,2 мм; D ₁ =5,15 мм; EPSR = 80°
10	Підрізний різець	CVD TP40	Сталь 40	L=12,70 мм; S=4,76 мм; RE=1,2 мм
12	Прохідний різець	CVD TP200	Сталь 40	IC=12,7 мм; L=12,9 мм; S=4,76 мм; RE=1,2 мм; D ₁ =5,15 мм; EPSR = 80°
13	Прохідний різець	CVD TP200	Сталь 40	IC=12,7 мм; L=12,9 мм; S=4,76 мм; RE=1,2 мм; D ₁ =5,15 мм; EPSR = 80°
14	Свердло центрувальне	P6M5	P6M5	D ₁ =4 мм; D ₂ =10 мм; L=56 мм

					КНУ.КБР.131.25.1-07.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.2.

1	2	3	4	5
15	Канавковий різець	CP 500	Сталь 40	$W_1 = 9,525$ мм; IGL=14 мм
16	Канавковий різець	CP 500	Сталь 40	$W_1 = 9,525$ мм; IGL=14 мм
17	Кінцева фреза	PVD TiAlCrSiN		DC=8 мм; LF=63 мм; APMX=18 мм; DCON _{MS} =8 мм

3.3 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту

Для одного з прийнятих типів інструментів обираються найбільш навантажені умови роботи (чорнова обробка). З урахуванням умов різання (фізико-механічні властивості матеріалу деталі, характеристики верстата і режими різання) визначаються сили різання. Прийнятий інструмент перевіряється на міцність для найбільш навантажених умов обробки.

Для розрахунку обираємо прохідний різець DCLNR2020X12JETI, так як він знімає найбільший припуск на механічну обробку та працює в найбільш тяжких умовах. Розміри різця $H=20$ мм; $B=20$ мм; $OAL=100$ мм; $LF=36$ мм; $WF=27,2$ мм, матеріал різця – сталь 40 з межею міцності $\sigma_B=650$ МПа і допустимою напругою $\sigma_{и.д.}=200$ МПа. Діаметр заготовки – 50 мм, припуск на обробку (на сторону – 1 мм), подача $S=0,54$ мм/об, виліт різця $l=50$ мм.

1. Визначаємо силу різання:

$$P_z = 9,81 \cdot C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot K_{pz}; \text{ Н} \quad (3.1)$$

де: $K_{pz} = 1$ – сумарний поправочний коефіцієнт;

$x_{pz} = 0,15$ – показник ступеню при глибині різання;

$y_{pz} = 0,35$ – показник ступеню при подачі;

$$9,81 \cdot 350 \cdot 6^{0,15} \cdot 0,54^{0,35} \cdot 1 = 3620,84 \text{ Н} \quad (3.2)$$

2. Ширина і висота перетину державки $B=20$ мм, $H=20$ мм.

3. Перевіряємо міцність і жорсткість різця:

а) максимальне навантаження, допустима міцність різця:

$$P_{z \text{ доп}} = \frac{bh^2 \sigma_{и.д.}}{6l} = \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot (20 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 200 \cdot 10^6}{6 \cdot 50 \cdot 10^{-3}} = 5333,3 \text{ Н} \quad (3.3)$$

б) максимальне навантаження, допустима жорсткість різця:

$$P_{z \text{ жорс}} = \frac{3fEI}{l^3} = \frac{3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1,33 \cdot 10^{-8}}{(50 \cdot 10^{-3})^3} = 6384 \text{ Н} \quad (3.4)$$

					КНУ.КБР.131.25.1-07.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка різця на міцність і жорсткість:

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

$$5333,3 > 3620,84 < 6384$$

Умова виконана. Різець володіє достатньою міцністю і жорсткістю.

3.4 Вибір типорозмірів допоміжних інструментів

Інструментальне налагодження представляє комплекс ріжучих і допоміжних інструментів, скомпонованих відповідно до конструкції деталі і змісту технологічної операції. Інструментальний комплекс складається послідовно від основного ріжучого інструмента, через набір допоміжних інструментів до посадкових поверхонь металорізального верстату. При проєктуванні налагодження враховується тип виробництва, точність, продуктивність і зручність обслуговування інструментального комплексу.

З урахуванням параметрів оброблюваної поверхні, способу базування деталі, типу верстату й основних розмірів прийнятого стандартного ріжучого інструмента, обираємо допоміжний інструмент із вказаними на нього конструктивними параметрами.

Розробку інструментального налагодження проводимо на токарну та фрезерну операції. Обробку проводимо на верстатах AVIAturn 35 та HAAS DT-1. Інструментальний комплекс складається за даними таблиць 3.1 та 3.2 відповідно технологічним операціям. Дані заносимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Структура інструментального комплексу

Назва операції	№ пов.	Металорізальний верстат (тип, модель)	Ріжучий інструмент (шифр інструмента – державки, пластини)	Допоміжний інструмент (шифр інструмента)
1	2	3	4	5
Токарна	1, 10	Токарний верстат AVIAturn 35	DSSNR2020K12-M; чорнова – SNMG120412-M5	Різцетримач 309.32.20 B2-30-20-40 радіальний короткий, форми B2
	2-9, 12, 13		DCLNR2020X12JETI; чорнова – CNMG120412-M5, чистова – CNMG120412-MF2	
	15, 16		CER2020K10D; 14ER3.0FG	
Свердлильна	11, 14		A4 ДСТУ ISO 866:2018	Тримач з цанговим патроном 309.01.16 E3-30x2-16 форми E3
Фрезерна	17	Вертикально-фрезерний верстат HAAS DT-1	2F342-0800-200-PD P2BM	Гідравлічний патрон 930-B30-P-08-088

					КНУ.КБР.131.25.1-07.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5 Компоновка інструментального комплексу та розробка інструментального налагодження на технологічну операцію деталі

Позиції: 1-10, 12, 13, 15, 16 – Підрізання торця, точіння, точіння фаски, точіння канавки:

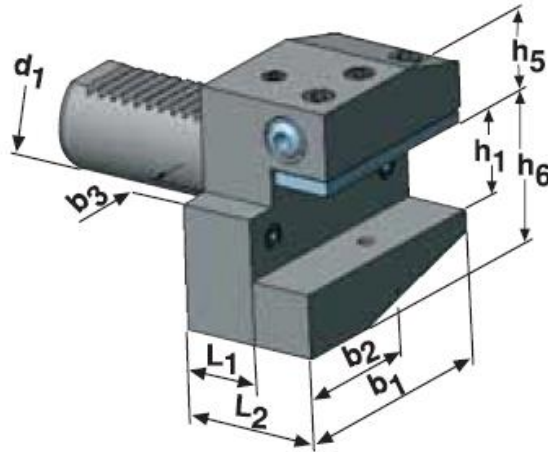


Рисунок 3.14 – Різцетримач радіальний короткий, форми В2: 309.32.20 В2-30-20-40 [4, с. 6.03]

Геометричні параметри: $d_1=30$ мм; $h_1=20$ мм; $L_2=40$ мм; $L_1=22$ мм; $b_1=70$ мм; $b_2=35$ мм; $b_3=10$ мм; $h_5=28$ мм; $h_6=38$ мм.

Позиції: 11, 14 – Свердління:

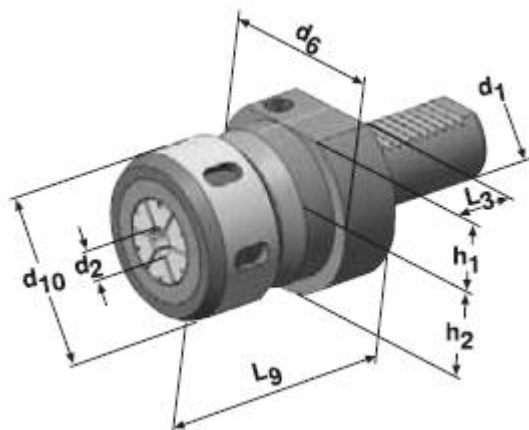


Рисунок 3.15 – Тримач з цанговим патроном форми Е3: 309.01.16 Е3-30х2-16 [4, с. 6.14]

Геометричні параметри: $d_1=30$ мм; $d_2=2...16$ мм; $d_6=68$ мм; $d_{10}=43$ мм; $h_1=28$ мм; $h_2=30$ мм; $L_3=22$ мм; $L_9=57$ мм.

					КНУ.КБР.131.25.1-07.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позиції: 17 – Фрезерування шпонкового пазу:

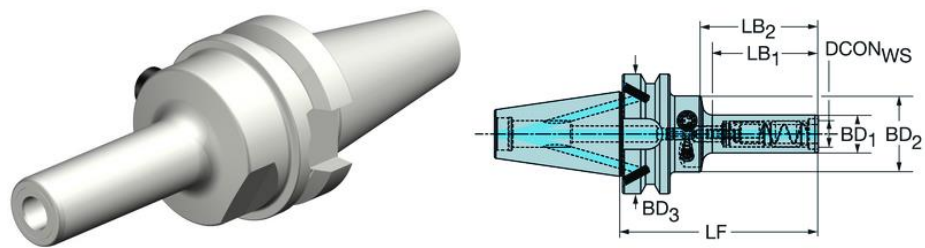


Рисунок 3.16 – Патрон гідравлічний 930-B30-P-08-088 [6]

Геометричні параметри: $LF=80$ мм; $BD_3=46$ мм; $DCON_{WS}=8$ мм.

					КНУ.КБР.131.25.1-07.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	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 – черв'ячної фрези. Порядок дій та формули приведені в посібнику «Проектування та технологічне забезпечення інструментальних систем інженерного дизайну». [9]

Вихідні дані:

Матеріал заготовки – Сталь 40Х;

Твердість – 345-360 НВ;

Стан поверхні – після механічної обробки;

$D = \varnothing 32f7 \left(\begin{smallmatrix} 0,016 \\ -0,035 \end{smallmatrix} \right)$ – зовнішній діаметр валу;

$d = \varnothing 28h14 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,38 \end{smallmatrix} \right)$ – внутрішній діаметр валу;

$b = 7f7 \left(\begin{smallmatrix} 0,016 \\ -0,035 \end{smallmatrix} \right)$ – ширина шліцу;

$n = 6$ – кількість шліців;

$C = 0,3$ мм – фаска на зовнішньому діаметрі;

$IT_D = 0,19$ мм – допуск на зовнішній діаметр валу;

$IT_d = 0,38$ мм – допуск на внутрішній діаметр валу;

$IT_b = 0,19$ мм – допуск на ширину шліцу.

Допуски задані в системі валу. Отже, для всіх розмірів $es=0$.

Верстат – GearSpect SF 160 CNC, потужність верстата – 9 кВт, найбільший діаметр обробки зовнішнього зачеплення – 140 мм, швидкість обертання шпинделя хобу – 20-2000 об/хв, максимальна швидкість подачі – осьової та радіальної – 7,5 мм/хв.

1. Розрахунковий зовнішній діаметр валу:

$$D_{\text{роз}} = D_{\text{max}} - 2C = (32 + (-0,016)) - 2 \cdot 0,3 = 31,384 \text{ мм} \quad (4.1)$$

звідки маємо

$$R_{\text{роз}} = \frac{D_{\text{роз}}}{2} = \frac{31,384}{2} = 15,692 \text{ мм} \quad (4.2)$$

2. Внутрішній розрахунковий діаметр з урахуванням допуску:

$$d_{\text{роз}} = d_{\text{min}} + 0,25IT_d = (28 + (-0,38)) + 0,25 \cdot 0,38 = 27,715 \text{ мм} \quad (4.3)$$

					КНУ.КБР.131.25.1-07.04.ПІАР			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування та інженерний аналіз різального інструменту	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Пираженко				Н		
Перевір.		Бондар				Каф. ТМ, гр. ПМ-22ск		
Реценз.								
Н. Контр.		Нечаєв						
Зав. каф.		Рязанцев						

3. Розрахункова ширина шліцу з урахуванням допуску:

$$b_{\text{роз}} = b_{\text{min}} + 0,25IT_b = (7 + (-0,035)) + 0,25 \cdot 0,19 = 7,0125 \text{ мм} \quad (4.4)$$

4. Радіус початкового кола:

$$R_{\text{поч}} = \sqrt{R_{\text{роз}}^2 - 0,75 \frac{b_{\text{роз}}^2}{4}} = \sqrt{15,692^2 - 0,75 \frac{7,0125^2}{4}} = 15,395 \text{ мм} \quad (4.5)$$

5. Кут шліца:

$$\sin \gamma = \frac{b_{\text{роз}}}{2R_{\text{поч}}} = \frac{7,0125}{2 \cdot 15,395} = 0,22775 \quad (4.6)$$

звідки маємо $\gamma = 13,1646^\circ$.

6. Координати точки А профілю зуба фрези:

$$x_A = k_{xA} R_{\text{поч}} \quad (4.7)$$

$$y_A = k_{yA} R_{\text{поч}} \quad (4.8)$$

6.1. Коефіцієнти k_{xA} та k_{yA} для точки А:

$$k_{xA} = 1,4484 \cdot 10^{-4} \gamma^2 - 9,98 \cdot 10^{-4} \gamma + 2,3004 \cdot 10^{-2} = 1,4484 \cdot 10^{-4} \cdot 13,1646^2 - 9,98 \cdot 10^{-4} \cdot 13,1646 + 2,3004 \cdot 10^{-2} = 0,03496 \quad (4.9)$$

$$k_{yA} = 1,9339 \cdot 10^{-4} \gamma^2 - 2,515 \cdot 10^{-3} \gamma + 9,2117 \cdot 10^{-2} = 1,9339 \cdot 10^{-4} \cdot 13,1646^2 - 2,515 \cdot 10^{-3} \cdot 13,1646 + 9,2117 \cdot 10^{-2} = 0,09252 \quad (4.10)$$

6.2. Таким чином маємо координати точки А:

$$x_A = 0,03496 \cdot 15,395 = 0,538 \text{ мм}$$

$$y_A = 0,09252 \cdot 15,395 = 1,424 \text{ мм}$$

7. Координати точки В профілю зуба фрези:

$$x_B = k_{xB} \quad (4.11)$$

$$y_B = k_{yB} R_{\text{поч}} \quad (4.12)$$

7.1 Коефіцієнти k_{xB} та k_{yB} для точки В:

$$k_{xB} = 7,3592 \cdot 10^{-5} \gamma^2 - 1,2 \cdot 10^{-3} \gamma + 6,6384 \cdot 10^{-2} = 7,3592 \cdot 10^{-5} \cdot 13,1646^2 - 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 13,1646 + 6,6384 \cdot 10^{-2} = 0,06334 \quad (4.13)$$

					КНУ.КБР.131.25.1-07.04.ПІАР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{yB} = 2,2498 \cdot 10^{-1} - 3,2505 \ln \gamma = 2,2498 \cdot 10^{-1} - 3,2505 \ln 13,1646 = 2,5775 \quad (4.14)$$

7.2. Таким чином маємо координати точки В:

$$x_B = 0,06334 \cdot 15,395 = 0,975 \text{ мм}$$

$$y_B = 2,5775 \cdot 15,395 = 39,68 \text{ мм}$$

8. Координати центра кола, яке описує профіль різальної кромки зуба фрези:

$$x_o = k_{xo} R_{\text{поч}} \quad (4.15)$$

$$y_o = k_{yo} R_{\text{поч}} \quad (4.16)$$

8.1. Коефіцієнти k_{xo} та k_{yo} кола:

$$k_{xo} = 3,9502 \cdot 10^{-4} \gamma^2 - 4951 \cdot 10^{-3} \gamma + 0,54997 = 3,9502 \cdot 10^{-4} \cdot 13,1646^2 - 4951 \cdot 10^{-3} \cdot 13,1646 + 0,54997 = -64,5595 \quad (4.17)$$

$$k_{yo} = 6,6458 - 10^{-2} e^{(6,6628 \cdot 10^{-2} \gamma)} = 6,6458 - 10^{-2} e^{(6,6628 \cdot 10^{-2} \cdot 13,1646)} = 6,6217 \quad (4.18)$$

8.2. Таким чином маємо координати центру кола:

$$x_o = -64,5595 \cdot 15,395 = -993,8935 \text{ мм}$$

$$y_o = 6,6217 \cdot 15,395 = 101,941 \text{ мм}$$

9. Радіус кола, що замінює профіль зуба фрези:

$$r_o = k_r R_{\text{поч}} \quad (4.19)$$

9.1. Коефіцієнт k_r радіуса замінюючого кола:

$$k_r = 5,2256 \cdot 10^{-4} \gamma^2 - 5,635 \cdot 10^{-3} \gamma + 0,55839 = 5,2256 \cdot 10^{-4} \cdot 13,1646^2 - 5,635 \cdot 10^{-3} \cdot 13,1646 + 0,55839 = 0,5748 \quad (4.20)$$

9.2. Таким чином маємо радіус замінюючого кола:

$$r_o = 0,5748 \cdot 15,395 = 8,849 \text{ мм}$$

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

$$t_n = \frac{2\pi R_{\text{поч}}}{n} = \frac{2\pi 15,395}{6} = 16,1216 \text{ мм} \quad (4.21)$$

					КНУ.КБР.131.25.1-07.04.ПІАР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Товщина зуба фрези за початковою прямою

$$b_n = 2R_{\text{поч}} \left(\frac{\pi}{n} - \gamma \right) = 2 \cdot 15,395 \left(\frac{\pi}{6} - 13,1646 \frac{\pi}{180} \right) = 9,047 \text{ мм} \quad (4.22)$$

12. Висота профілю зуба фрези

$$h_1 = R_{\text{поч}} \sin \alpha (\sin \alpha - \sin \gamma) \quad (4.23)$$

$$\cos \alpha = \frac{d_{\text{роз}} \cos \mu}{2R_{\text{поч}}} \quad (4.24)$$

$$\sin \mu = \frac{b_{\text{роз}}}{d_{\text{роз}}} \quad (4.25)$$

Отже, послідовно маємо:

$$\sin \mu = \frac{b_{\text{роз}}}{d_{\text{роз}}} = \frac{7,0125}{27,715} = 0,253$$

звідки $\mu = 14^\circ 39' 18''$

$$\cos \alpha = \frac{d_{\text{роз}} \cos \mu}{2R_{\text{поч}}} = \frac{27,715 \cdot \cos 14^\circ 39' 18''}{2 \cdot 15,395} = 0,8708$$

звідки $\alpha = 29^\circ 26' 54''$

Отже, висота профілю зуба фрези дорівнює:

$$h_1 = 15,395 \sin 29^\circ 26' 54'' (\sin 29^\circ 26' 54'' - \sin 13,1646^\circ) = 1,997 \text{ мм}$$

13. Зовнішній діаметр D_e фрези залежить від кроку t_n по нормалі:

$$D_e = 3,7t_n = 3,7 \cdot 16,1216 = 59,649 \text{ мм} \quad (4.26)$$

Отриманий результат необхідно округлити до найближчого з ряду:

40 50 55 60 70 75 80 85 95 100 120 130

Приймаємо $D_e = 60 \text{ мм}$.

14. Кількість зубців фрези:

$$z = 0,13 \cdot D_e + 2 = 0,13 \cdot 60 + 2 = 9,8 \quad (4.27)$$

Приймаємо парну кількість зубців $z = 10$.

					КНУ.КБР.131.25.1-07.04.ПІАР					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

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

16. Величина затилування шліфованої частини зуба:

$$K = \frac{\pi D_e}{z} \tan \alpha_b = \frac{\pi 60}{10} \tan 10^\circ = 3,324 \text{ мм} \quad (4.28)$$

Отриманий результат необхідно округлити до 0,5. Приймаємо $K = 3,5$ мм.

17. Величина другого затилування:

$$K_1 = (1,15 \dots 1,35)K = 1,25 \cdot K = 1,25 \cdot 3,5 = 4,375 \text{ мм} \quad (4.29)$$

Приймаємо $K_1 = 3,5$ мм.

18. Середній розрахунковий діаметр фрези:

$$D_t = D_e - 2h_1 = 60 - 2 \cdot 1,997 = 56,006 \text{ мм} \quad (4.30)$$

19. Кут нахилу стружкових канавок:

$$\sin \omega = \frac{t_n}{\pi D_t} = \frac{16,1216}{\pi \cdot 56,006} = 0,09163 \quad (4.31)$$

звідки $\omega = 5^\circ 15' 26''$.

20. Крок гвинтової стружкової канавки:

$$S_k = \frac{\pi D_t}{\tan \omega} = \frac{\pi \cdot 56,006}{\tan 5^\circ 15' 26''} = 1912 \text{ мм} \quad (4.32)$$

21. Крок витків по осі інструмента:

$$t_{oc} = \frac{t_n}{\cos \omega} = \frac{16,1216}{\cos 5^\circ 15' 26''} = 16,189 \text{ мм} \quad (4.33)$$

22. Довжина робочої частини фрези:

$$L \approx 2,5 t_{oc} \approx 2,5 \cdot 16,189 \approx 40,473 \text{ мм} \quad (4.34)$$

Приймаємо загальну довжину фрези $L = 45$ мм.

23. Швидкість різання фрези:

$$v = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v = \frac{443 \cdot 60^{0,17}}{120^{0,33} \cdot 2^{0,38} \cdot 0,13^{0,28} \cdot 9,047^{-0,05} \cdot 6^{0,1}} \cdot 0,645 = 232,44 \text{ м/хв} \quad (4.35)$$

					КНУ.КБР.131.25.1-07.04.ПІАР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

24. Поправочні коефіцієнти:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} \quad (4.36)$$

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

25. Частота обертів фрези:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 232,44}{\pi \cdot 60} = 1233,1 \text{ об/хв} \quad (4.37)$$

26. Сила різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B \cdot 6}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp} = \frac{10 \cdot 101 \cdot 2^{0,88} \cdot 0,13^{0,75} \cdot 9,047 \cdot 6}{60^{0,87} \cdot 1233,1^0} \cdot 1,08 = 619,9 \text{ Н} \quad (4.38)$$

27. Крутний момент:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{200} = \frac{619,9 \cdot 60}{200} = 185,97 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.39)$$

Побудуємо 3D-модель черв'ячної фрези за допомогою програмного середовища SOLIDWORKS згідно вихідних даних для подальшого проведення інженерного аналізу. Креслення фрези надається в альбомі креслень.

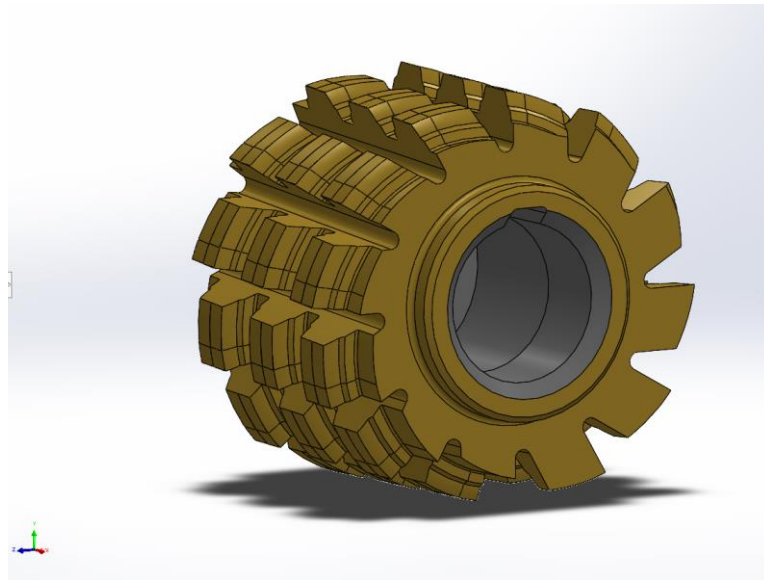


Рисунок 4.1 – Змодельована черв'ячна фреза

					КНУ.КБР.131.25.1-07.04.ПІАР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	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.

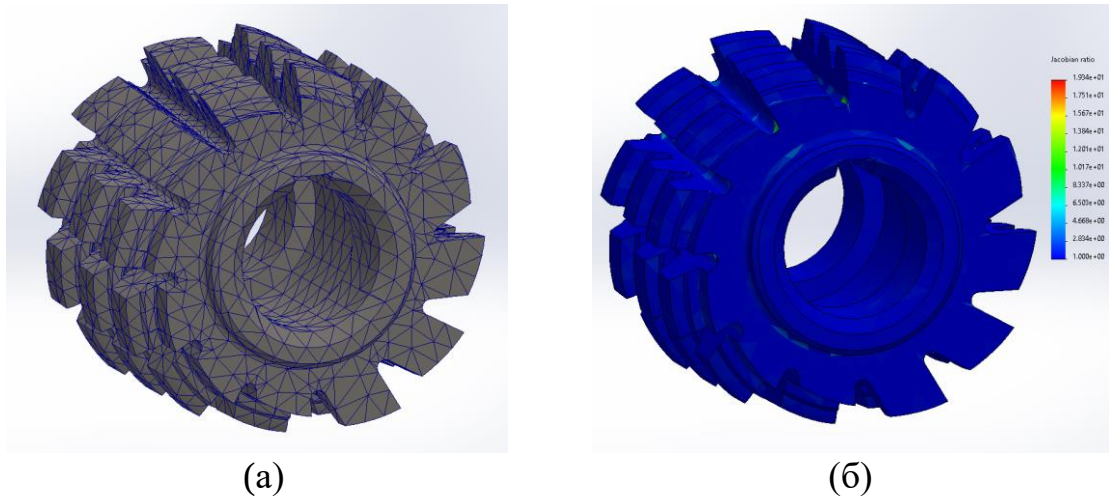


Рисунок 4.2 – Сітка моделі (а) та епюра якості сітки (б)

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 $P_z = 619,9 \text{ Н}$ та крутний момент $M_{кр} = 185,97 \text{ Н}\cdot\text{м}$, що зображено на рисунку 4.3.

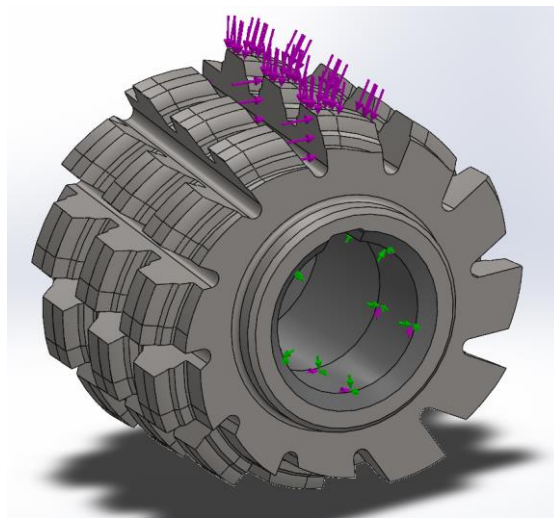


Рисунок 4.3 – Фіксація фрези та прикладені сили

					КНУ.КБР.131.25.1-07.04.ПІАР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 «Вал».

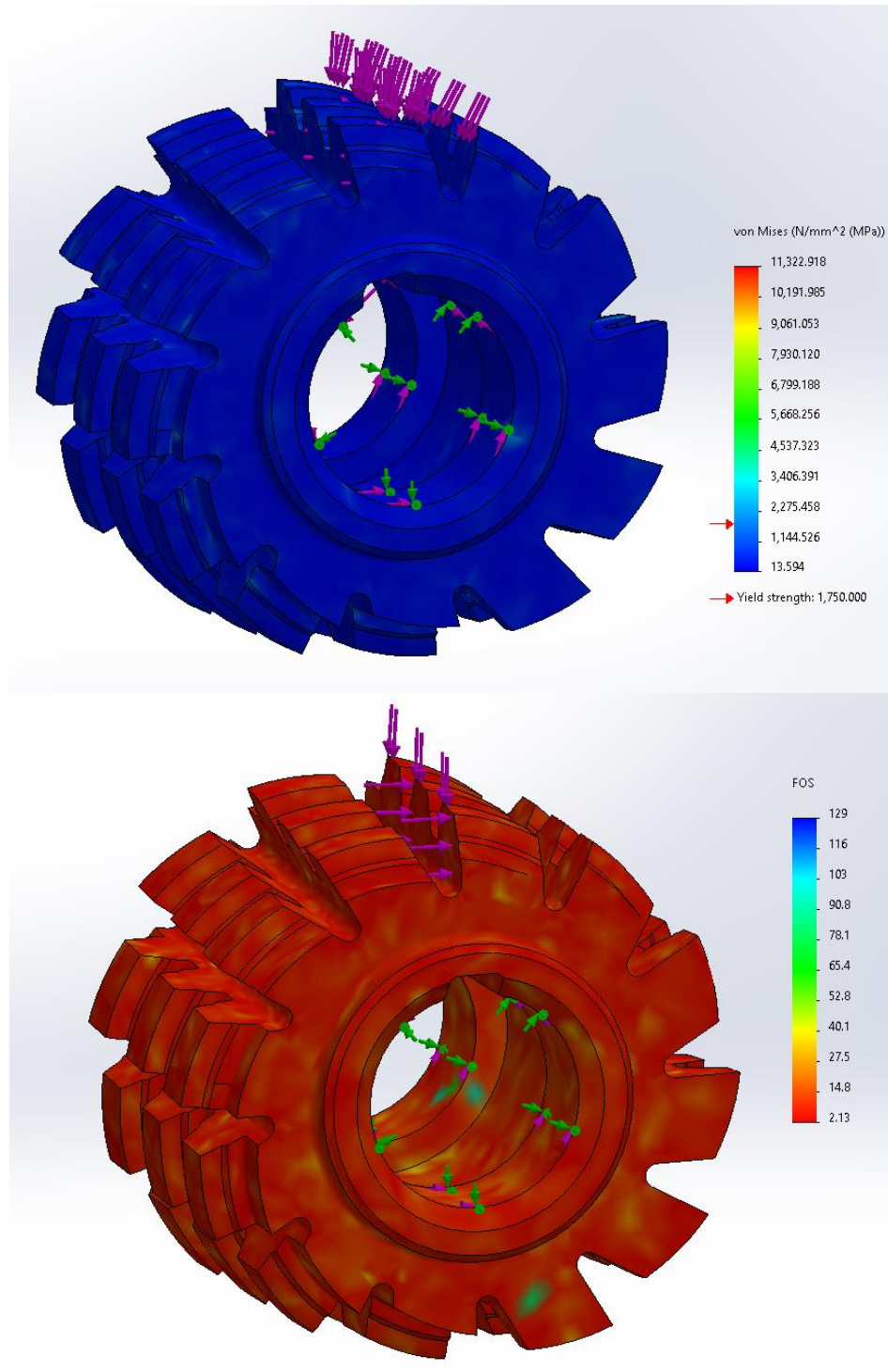


Рисунок 4.4 – Епюри статичного аналізу черв'ячної фрези

					КНУ.КБР.131.25.1-07.04.ПІАР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ 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 ($l = 165h14$) шпонкового пазу кінцевою фрезою.

В якості заготовки було створено модель, що має вигляд деталі «Вал» після проведення токарної обробки (без шпонкового пазу та зовнішніх шліців) для подальшого імпортування в САМ-систему.

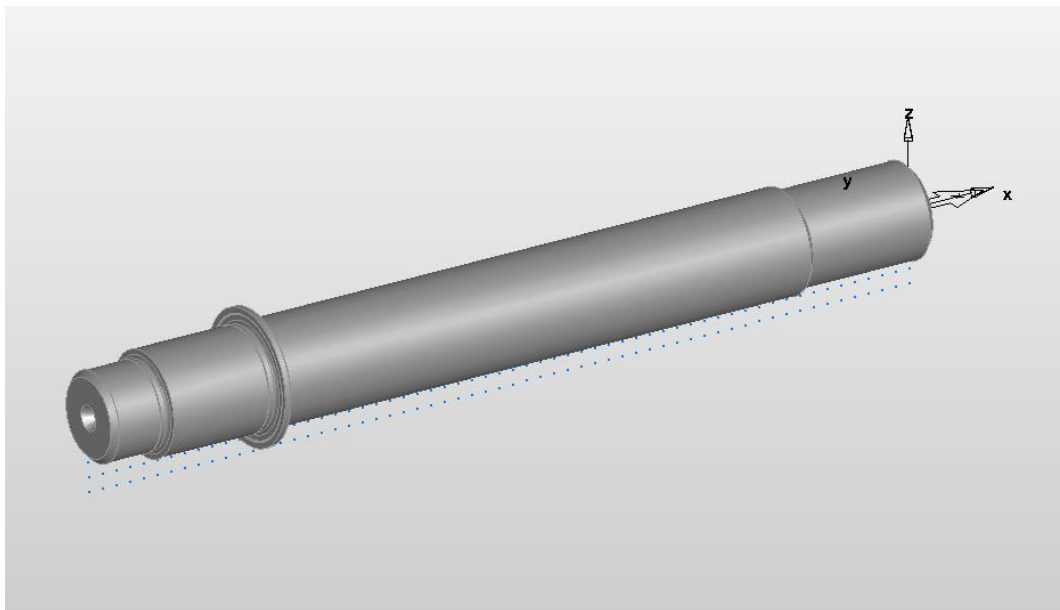


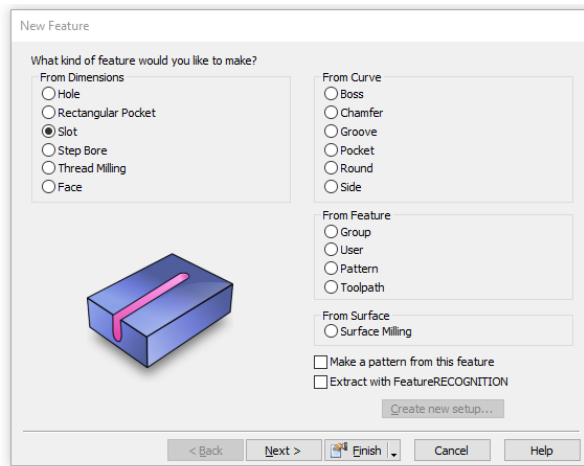
Рисунок 5.1 – Загальний вигляд заготовки

5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм

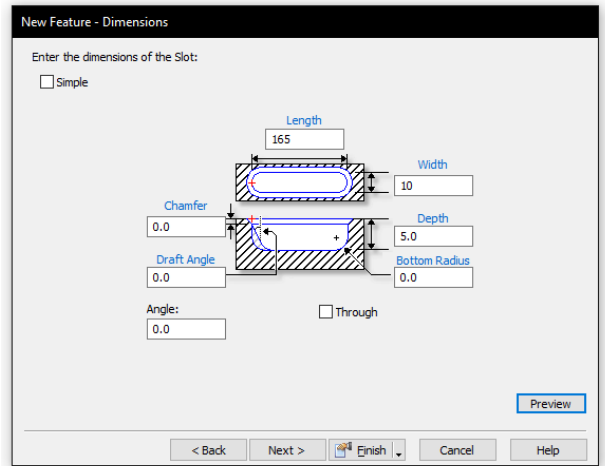
Моделювання обробки та перевірка керуючої програми було проведено в програмному середовищі Autodesk FeatureCAM.

Було імпортовано модель заготовки (рисунок 5.1) та створено новий елемент «Паз». Налаштування елемента зображено на рисунку 5.2.

					КНУ.КБР.131.25.1-07.05.МПОМ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Пироженко			Моделювання та проектування операцій механічної обробки		Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Бондар					Н		
Реценз.							Каф. ТМ, гр. ПМ-22ск		
Н. Контр.		Нечаєв							
Зав. каф.		Рязанцев							



(a)



(б)

Рисунок 5.2 – Вибір елемента «Паз» (а) та його налаштування (б)

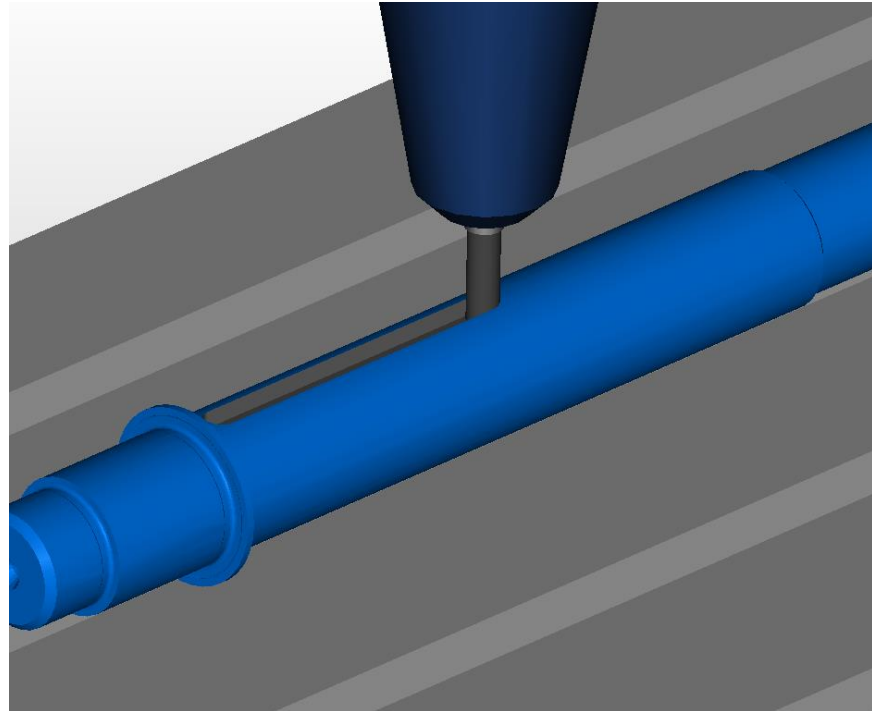


Рисунок 5.3 – Процес симуляції обробки шпонкового пазу на верстаті

					КНУ.КБР.131.25.1-07.05.МПОМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

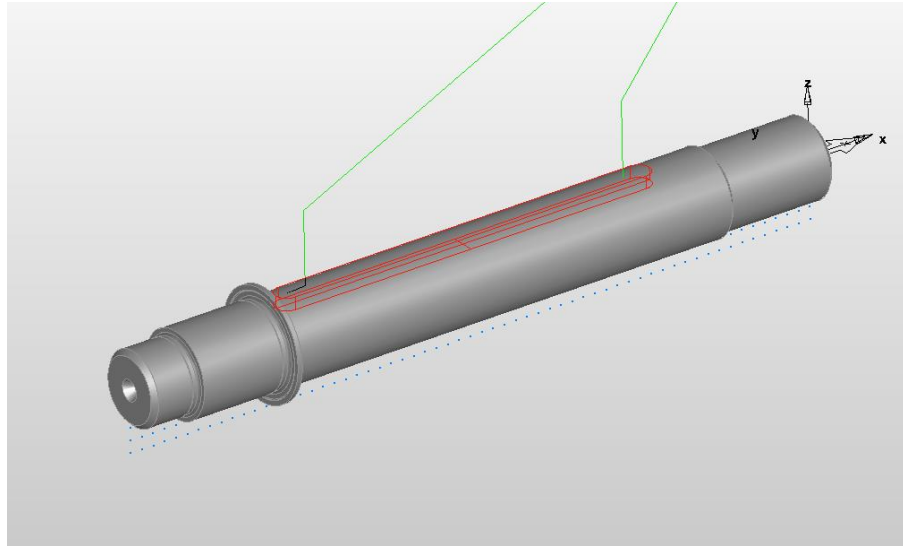


Рисунок 5.4 – Загальний вигляд траєкторій переміщення інструменту

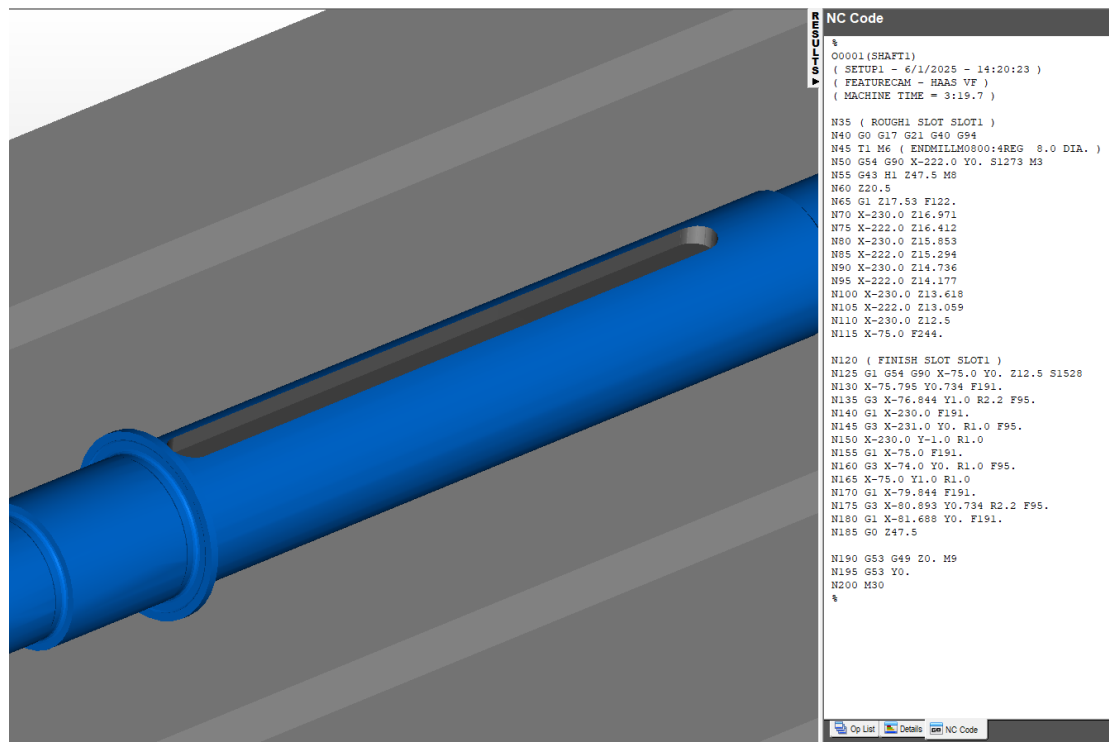


Рисунок 5.5 – Результат обробки деталі та керуюча програма

					КНУ.КБР.131.25.1-07.05.МПОМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Розрахунок ключових техніко-економічних показників

Розрахунок техніко-економічних показників виготовлення деталі «Вал» був проведений у спеціальній таблиці програмного середовища Microsoft Excel.

Метою проведення розрахунку є порівняння економічних витрат підприємства на придбання та експлуатацію сучасного токарного верстату з ЧПК AVIAturn 35 з витратами на утримання радянських токарних верстатів та формування висновку про доцільність заміни верстатів.

З урахуванням зміни трудомісткості, штучного часу обробки деталі та собівартості обробки, затратами на придбання та розміщення верстату та розробку керуючої програми та інших факторів, було розраховано річний економічний ефект введення у виробництво верстата з ЧПК та період його окупності.

Вихідні дані				
Дані	Базовий варіант			Новий варіант
	1M553	2A637Ф4	6610	AVIAturn 35
Деталі				
Річний обсяг випуску деталей N, шт.	800			800
Кількість запусків партій деталей в рік, шт.	12			12
Тривалість випуску деталей Z, років	1			1
Штучний час обробки деталі $t_{шт}$, хв.	30	28	27	29
Час наладки верстата, хв.	29	21	15	40
Розряд:				
контролера	5			5
верстатника	4	3	3	2
наладчика	3	3	3	5
наладчика інструменту		4		4
Кількість кадрів програми, шт.		400		600
Вартість заготовки $S_{заг}$, грн.	76.28			76.28
Середній період стійкості інструменту, хв.	45	60	45	90
Середня кількість граней пластинки, шт.	1	2	2	3
Коефіцієнт, що враховує питому вагу основного часу в штучному K_t	0.083	0.2	0.083	0.2
Вартість одного кадру ПК, грн.		7		8.9
Вартість розробки ПК $K_{рз}$, грн.		2800		5340
Середньочасова зарплатня робітника, грн:				
верстатника $H_{вст}$	33.6	32.3	32.3	30.1
наладчика $H_{нал}$	33.6	28.2	33.6	34.3
наладчика інструмента $H_{ін}$		31.1		
контролера H_k	29.8			29.8

Рисунок 6.1 – Вихідні дані до економічних розрахунків

					КНУ.КБР.131.25.1-07.06.0ЕПВ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Організаційно- економічна підготовка виробництва		Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Пираженко						Н		
Перевір.	Бондар						Каф. ТМ, гр. ПМ-22ск		
Реценз.									
Н. Контр.	Нечаєв								
Зав. каф.	Рязанцев								

Приведені витрати					Строк окупності				
$З_1$	=	C_1	+	E_n	-	K_1	$T_{ок} =$	$(K_2$	- $K_1) / (C_1 - C_2)$
219022		153977		0.15		433633	1.3224	540995.72	433633 153977.49 72792.19
$З_2$	=	C_2	+	E_n	-	K_2			
153942		72792		0.15		540996			
Річний економічний ефект									
E	=	$З_1$	-	$З_2$					
65080.9		219022.5		153942					

Рисунок 6.2 – Підсумок витрат та результат розрахунків

Згідно проведених економічних розрахунків, річний економічний ефект введення верстата з ЧПК у виробництво складе 65080 грн. 90 коп., а період окупності становитиме 1,32 роки, що підтверджує доцільність заміни верстата.

6.2 Охорона праці та екологія виробництва

Одними з найактуальніших питань в сучасній металообробній промисловості є вплив мастильно-охолоджувальних рідин та шкідливість стружки у відношенні до працівників виробництва.

6.2.1 Шкідливість мастильно-охолоджувальних рідин

В металообробці МОР використовуються для поліпшення умов різання, зокрема охолодження заготовки та інструменту та змащення поверхонь, що приймають участь в процесі різання. Певні МОР мають негативний вплив на організм при контакті зі шкірою, а вдихання парів МОР може викликати респіраторні захворювання та алергічні реакції. Також витік МОР в навколишнє середовище може нанести шкоду місцевій екосистемі, спричинити забруднення ґрунтових вод.

6.2.2 Шкідливість стружки

Стружка утворюється при обробці металів різанням та зазвичай є гострою та має високу температуру, що може призвести до травми працівника на робочому місці. Також має місце шкідливий вплив на екологію внаслідок неправильної утилізації стружки, зокрема забруднення ґрунтів важкими металами.

6.2.3 Способи вирішення питань

Зменшити негативний вплив МОР на навколишнє середовище можна шляхом фільтрації та повторного використання, заміни МОР на більш хімічно нейтральні (за умови відсутності або мінімального негативного впливу на технологічний процес).

Збір стружки та її подальша переробка дозволяє зменшити витрати металу шляхом його повторного використання, а ізоляція робочої зони верстату дозволяє зменшити ризик травмування завдяки зменшенню розкидання стружки.

					КНУ.КБР.131.25.1-07.06.0ЕПВ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Підвищити безпеку працівників на робочому місці можна шляхом використання спеціального захисного одягу та засобів індивідуального захисту (окуляри, термостійкі рукавиці, респіраторні маски), а також за рахунок модернізації систем вентиляції робочих місць.

					КНУ.КБР.131.25.1-07.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У даній кваліфікаційній бакалаврській роботі було проведено конструкторсько-технологічну підготовку виготовлення деталі «Вал» та обґрунтування параметрів різального інструменту за допомогою CAD/CAE систем, зокрема проєктування спеціального інструменту та його інженерний аналіз, а також змодельовано фрезерну операцію обробки деталі.

У першому розділі описано технічне завдання та проведено аналіз вихідного креслення деталі. Було визначено, що деталь «Вал» є частиною коробки швидкостей токарного верстата 16K20Ф3С32 та призначена для передачі крутного моменту від головного електродвигуна до шпинделя верстата, а також зображено конструкцію та описано принцип роботи коробки швидкостей. Проведено розрахунки параметрів точності шпонкового з'єднання «вал-шпонка» та на основі розрахунків створено схему полів допусків.

У другому розділі розглянуто службове призначення валу, приведено властивості матеріалу сталь 40Х та його найближчих аналогів. Проведено аналіз оброблюваних поверхонь деталі та з урахуванням умов точності та якості поверхонь призначено технологічні методи обробки. Підібрано металорізальні верстати та вказано їх технічні характеристики: токарний верстат з ЧПК AVIAturn 35 – для операцій точіння і свердління центрових отворів, вертикально-фрезерний верстат з ЧПК HAAS DT-1 – для фрезерування шпонкового пазу, зубофрезерний верстат з ЧПК GearSpect SF 160 CNC – для нарізання зовнішніх шліців, універсальний круглошліфувальний верстат Bernardo URS 500 N – для шліфування посадкових поверхонь валу.

У третьому розділі було проведено підбір ріжучого інструмента, необхідного для обробки деталі «Вал», а також розрахунок на міцність та жорсткість найбільш навантаженого інструменту – токарного різця, що використано для чорнового точіння. З урахуванням посадкових місць верстатів та геометричних параметрів інструментів, обрано допоміжний інструмент для операцій точіння, свердління та фрезерування.

Четвертий розділ присвячено розрахунку та проєктуванню спеціального інструменту – черв'ячної фрези для обробки зовнішніх шліців. Згенеровано модель черв'ячної фрези з подальшим інженерним аналізом в програмному середовищі SOLIDWORKS Simulation з метою визначення працездатності та стійкості інструменту.

У п'ятому розділі з урахуванням геометричних параметрів інструменту проведено моделювання процесу фрезерної обробки деталі «Вал», а саме виконання шпонкового пазу суцільною кінцевою фрезою. Також проведено симуляцію обробки деталі на верстаті з метою виявлення приблизного часу обробки та оцінки ризиків виникнення аварійних ситуацій.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-07.В</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Висновок</i>		
Розроб.		<i>Пираженко</i>					
Перевір.		<i>Бондар</i>					
Реценз.							
Н. Контр.		<i>Нечаєв</i>					
Зав. каф.		<i>Рязанцев</i>					
					Літ.	Арк.	Аркушів
					Н		
					<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22ск</i>		

Шостий розділ було присвячено розрахункам основних техніко-економічних показників з метою визначення та обґрунтування доцільності впровадження нового верстату у виробництво. Результати розрахунків свідчать про позитивний результат заміни старих верстатів на сучасний верстат з ЧПК. Також було розглянуто певні питання з охорони праці та екології та можливі способи їх вирішення.

Результати досліджень, проведених в рамках кваліфікаційної бакалаврської роботи, підтверджують доцільність використання запропонованих технологічних рішень у виробничому процесі. Матеріали роботи, зокрема креслення та моделі, можуть бути запроваджені у виробництво з метою підвищення його ефективності, якості продукції та зниження фінансових витрат.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-07.В</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 23360:2008. Основні норми взаємозамінності. З'єднання шпонні з призматичними шпонками. Розміри шпонок і перетинів пазів. Допуски і посадки. Вид. офіц. Київ: 2008. 13 с.
2. ДСТУ 7806:2015 Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови. Вид. офіц. Київ: 2016. 50 с.
3. Каталог SECO «Turning» 2020. 808 с.
4. Каталог EROGLU «Різцетримачі» 2020. 24 с.
5. Sandvik Coromant. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/product-details?c=2F342-0800-200-PD%20%20%20P2BM&m=8351758>
6. Sandvik Coromant. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/product-details?c=930-B30-P-08-088&m=7864354>
7. Каталог Luga Abrasiv «Абразивний інструмент» 2015. 298 с.
8. ДСТУ ISO 866:2018 Свердла центрувальні для свердління центрових отворів без запобіжних фасок. Тип А
9. Солодкий В.І., Адаменко Ю.І., Вовк В.В., Мініцька Н.В. Проектування та забезпечення інструментальних систем інженерного дизайну. Частина І. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2020. 225 с.

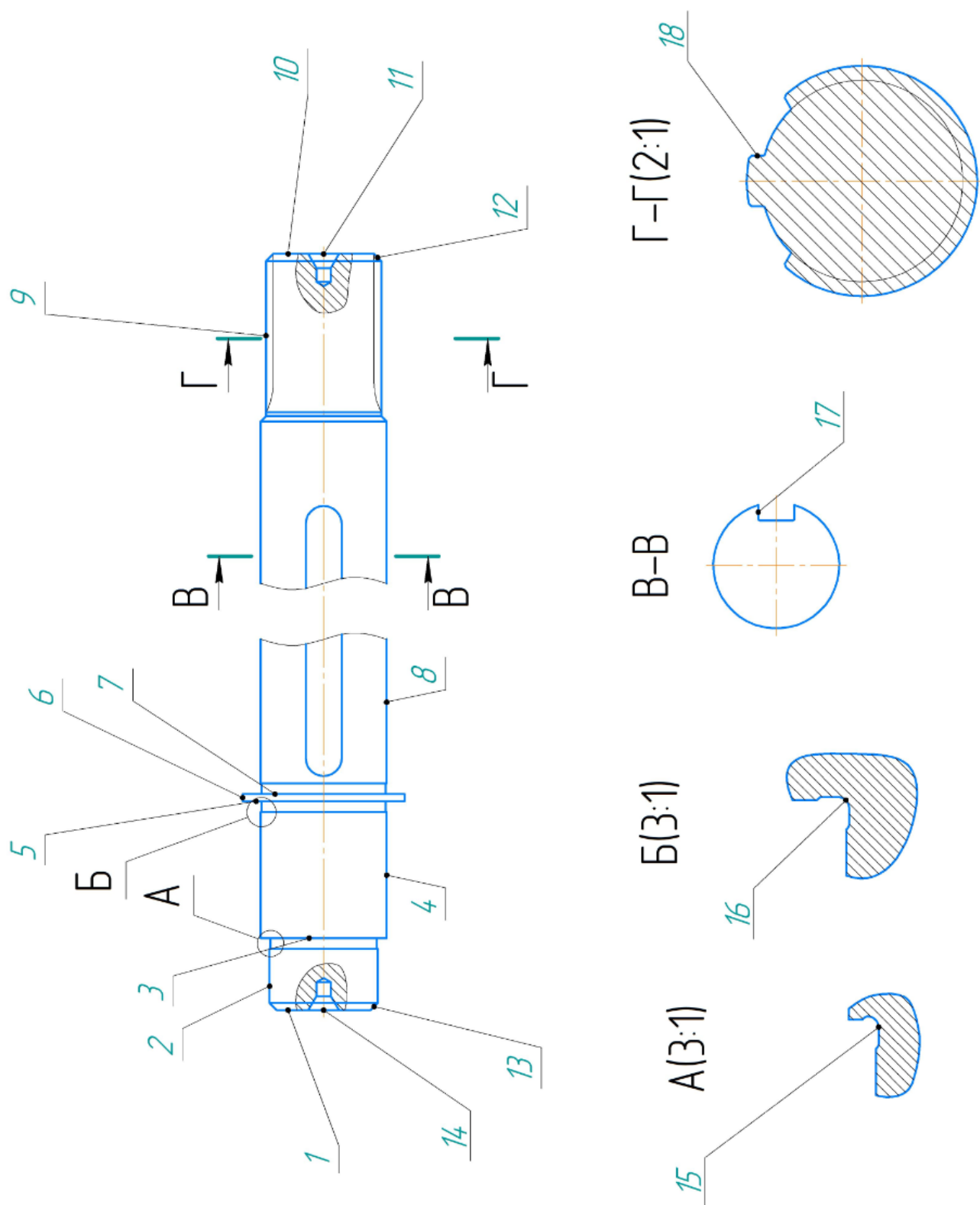
					<i>КНУ.КБР.131.25.1-07.СВД</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Список використаних джерел</i>		
Розроб.		<i>Пироженко</i>					
Перевір.		<i>Бондар</i>					
Реценз.							
Н. Контр.		<i>Нечаєв</i>					
Зав. каф.		<i>Рязанцев</i>			Літ. Арк. Аркушів Н Каф. ТМ, гр. ПМ-22ск		

ДОДАТКИ

					КНУ.КБР.131.25.1-07.Д		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Додатки		
Розроб.	Пираженко						
Перевір.	Бондар						
Реценз.							
Н. Контр.	Нечаєв						
Зав. каф.	Рязанцев				Каф. ТМ, гр. ПМ-22ск		
					Літ.	Арк.	Аркушів
					Н		

ДОДАТОК А

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
«Вал» та обґрунтування параметрів різального інструменту за
допомогою CAD/CAM/CAE систем

Виконав здобувач гр. ПМ-22ск

(підпис)

Андрій ПИРОЖЕНКО

Керівник КБР

(підпис)

Олена БОНДАР

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

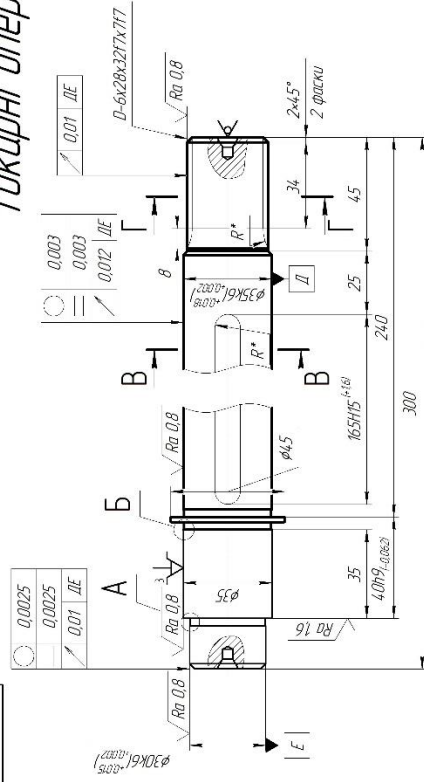
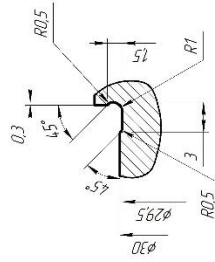
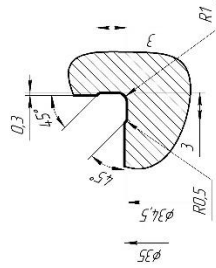
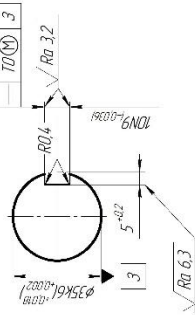
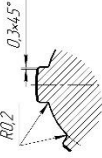
Завідувач кафедри

(підпис)

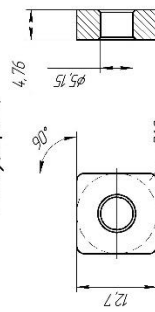
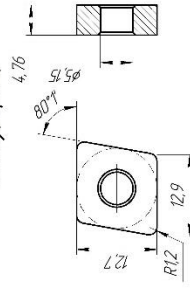
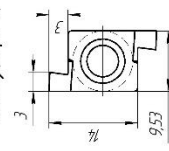
Антон РЯЗАНЦЕВ

Кривий Ріг
2025 р.

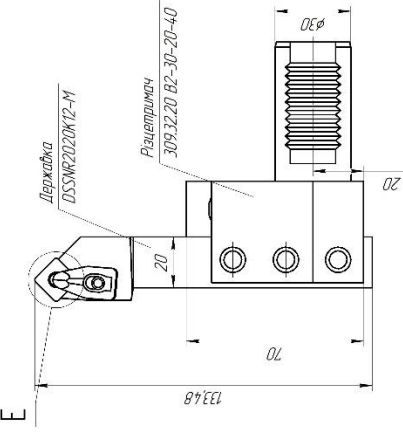
Первинне застосування		Довідковий №		КНУ.КБР.131.25.1-07.В.2Д.3А									
Підп. и дата		Інв. №		Зам. інв. №		Інв. № дідл.		Підп. и дата					
Інв. № ор.		Зм.		Арк.		№ докум.		Підпис		Дата		КНУ.КБР.131.25.1-07.В.2Д.3А	
		Розрад.		Пироженко								Вал	
		Перев.		Бондар									
		Т.контр.										Літ.	
		З.нач.від.											
		Н.контр.		Нечаєв								Масштаб	
		Затв.		Рязанцев								1:1	
												Арк.	
												Аркцивів 1	
												Кафедра ТМ	
												гр. ПМ-22ск	


$$A(4:1)$$
 $5(4:1)$  $\Pi(2:1)$ 

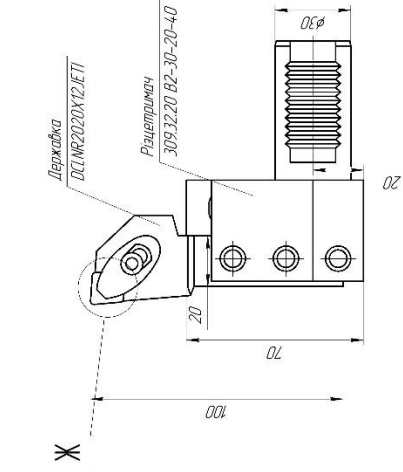
EO(2.5:1)

 $\ast O_2(2.5:1)$  $3Q_2(2.5:1)$ 

Поверхні обробки: 1, 10



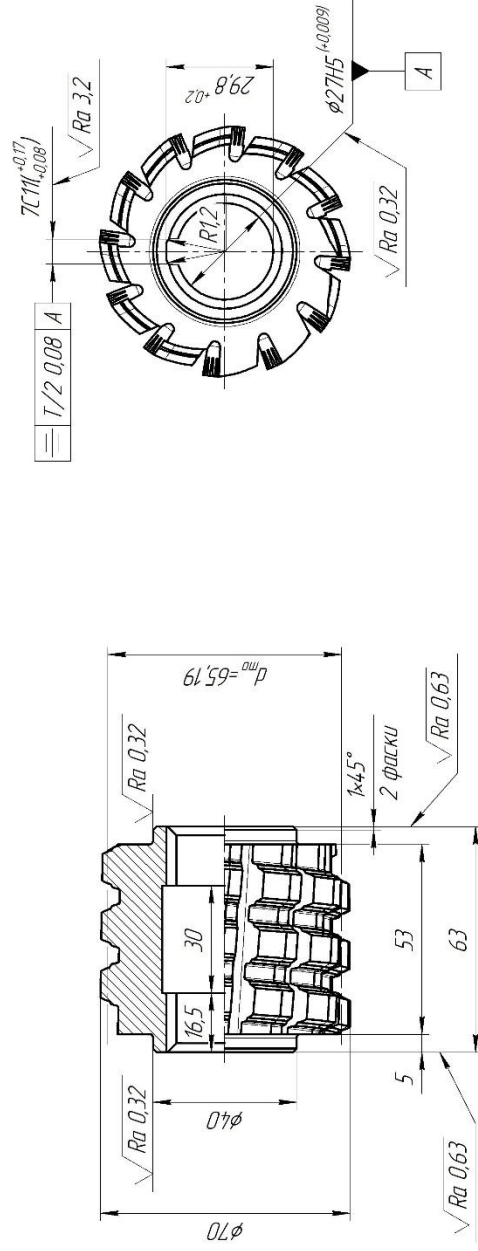
Поверхні обробки: 2-9, 12, 13



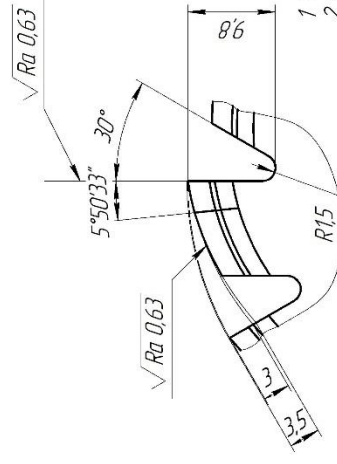
Типи різців	Шифр державки	Шифр пластини	Матеріал пластини	Геометричні параметри пластини, мм	Геометричні параметри державки, мм
Підрізний різць	DSSNR2020K12-M	SNMG1204.12-M5	TP 40	L=12,70 мм; S=4,76 мм, D1=5,15 мм; RE=12 мм, ESPR=90°	H=20 мм, B=20 мм; LFS=134,3 мм; LH=39 мм, WF=25 мм
Прохідний різць	DCLNR2020X12.ET1	CNMG1204.12-M5	TP 200	LC=12,70 мм, L=12,9 S=4,76 мм, D1=5,15 мм; RE=12 мм, ESPR=80°	H=20 мм, B=20 мм; LFS=134,3 мм; LH=39 мм, WF=25 мм
Прохідний різць	DCLNR2020X12.ET1	CNMG1204.12-MF2	TP 200	LC=12,70 мм, L=12,9 S=4,76 мм, D1=5,15 мм; RE=12 мм, ESPR=80°	H=20 мм, B=20 мм; LFS=134,3 мм; LH=39 мм, WF=25 мм
Каналковий різць	CER2020K100	14ER3.0FG	CP 500	W1=9,525 мм; LD1=14 мм, CW=3 мм; CDX=3 мм	H=20 мм, B=20 мм; LFS=128 мм; LH=24,5 мм, WF=25 мм

[illegible]

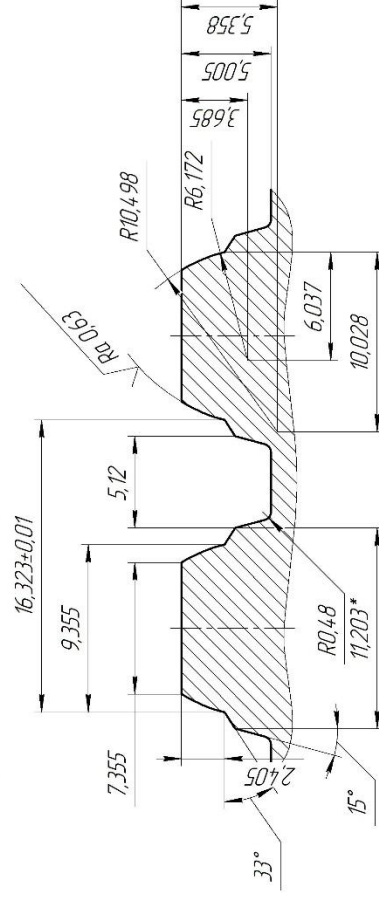
Первинне застосування		Довідковий №																							
Підп. і дата		Зам. інв. №		Інв. № дідл.		Підп. і дата		КНУ.КБР.131.25.1-07.ВІН.2Д.3А																	
Інв. № ор.	Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.КБР.131.25.1-07.ВІН.2Д.3А																			
						Верстатно-інструментальне налагодження										Літ.	Маса	Масштаб							
																Н		1:1							
																Арк.		Аркциві		1					
																Кафедра ТМ гр. ПМ-22ск									
Розрад.	Пироженко																								
Перев.	Бондар																								
Т.контр.																									
З.нач.від.																									
Н.контр.	Нечаєв																								
Затв.	Рязанцев																								



Зүд през (2,5:1)



Профіль зчб в нормальному перерізі (5:1)

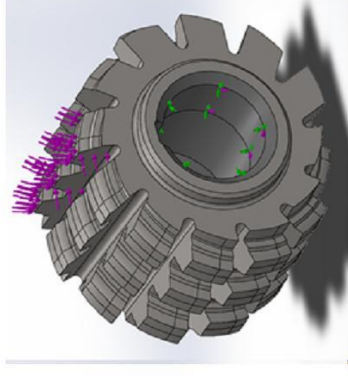
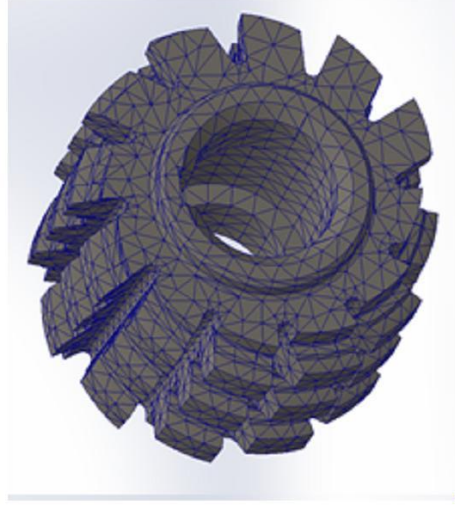


- 1 Твердість 63...66 HRC
- 2 Маркувати: модуль, витка, крок гвинтової

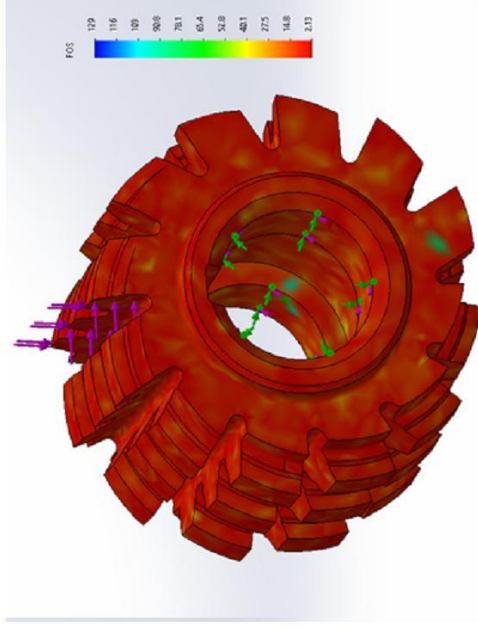
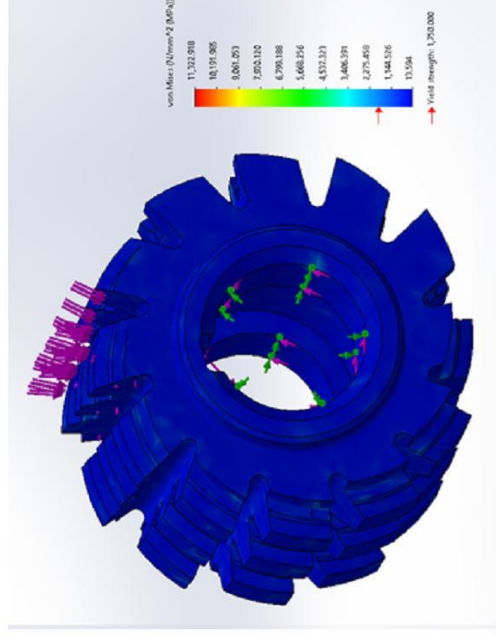
Фрезза 2520-0703 А ГОСТ 8027-86				
Крок збій фрези	R_n	№323		
Число стружкових канавок	Z_n	12		
Число заходів	n	1		
Напрямок шліфної фрези		-		Мові
Кут підкошу дитки фрези на середньому розріз.	$\gamma_{\text{ср}}$	4°34'		
Напрямок стружкових канавок		-		Правий
Кут нахилу лінії канавки на середньому розріз.	$\lambda_{\text{ср}}$	4°34'		
Хід збійових стружкових канавок	R_{20}	2561		
Стандарт протідітчних шліфів	-	ДСТУ 1199-80		
Позначення шліфів	D-6x28x32x7			
Клас точності за ДСТУ 8027-86	-	A		
Радіальне диття дитки	f_r	0,006		
Торцеве диття дитки	f_t	0,005		
Радіальне диття по вершини збій	$f_{r(n)}$	0,032		
Профіль передньої поверхні	f_y	0,032		
Різкість суцільних окучних кроків стружкових канавок	$f_{\text{ср}}$	-		
Відхилення передньої поверхні стружкових канавок від номінального положення	f_x	±0,08		
Відхилення торцевої збій зчирення на висоті збійки	T_{20}	-		
Відхилення дитки лінії фрези на ділянці оберт	f_{120}	0,014		
Відхилення кінцевого кроку фрези	f_{170}	±0,01		
Нахилінен ділення кроку фрези на ділянці збій-вих тьон-кроку	$f_{\text{ср}20}$	±0,02		

[illegible]

Первинне застосування		Довідковий №		КНУ.КБР.131.25.1-07.4Ф.20.3А													
Підп. и дата		Зам. інв. №		Інв. № дідл.		Підп. и дата		КНУ.КБР.131.25.1-07.4Ф.20.3А									
Інв. № ор.	Зм.		Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Черв'ячна фреза				Літ.	Маса	Масштаб				
	Розрад.		Пироженко								Н		1:1				
	Перев.		Бондар				Арк.		Архивів 1								
	Т.контр.						Кафедра ТМ гр. ПМ-22ск										
	Знач.від.																
	Н.контр.		Нечаєв														
	Затв.		Рязанцев														



Дослідження "Factor of Safety" у SW Simulation



Достижения MS в "Stress" Simulation

[illegible]

ИВБ. № 09.

KHYK6P.131.25.1-071A.2D.3A

КНУ.КБР.131.25.1-07.1А.2D.3А

Інженерний аналіз

Лит.		Маса	Масштаб
H			1:1
Арк.		Архив № 1	

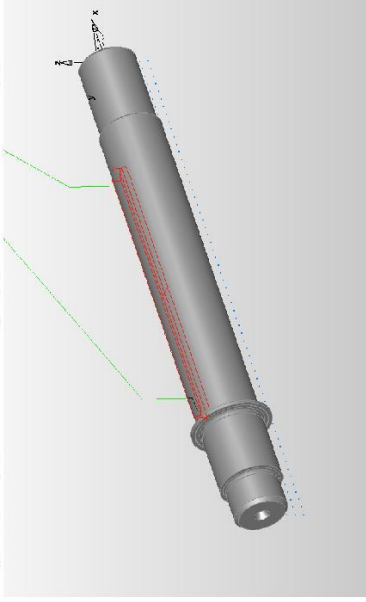
Кафедра ТМ
гр. ПМ-22ск

Копіював

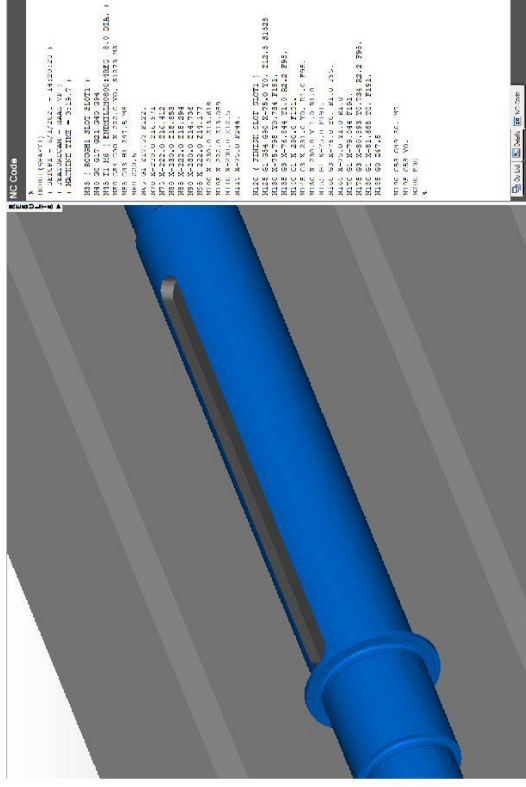
Формат А4

Траєкторія руху інструмента у FeatureCAM

WORKS



Результат обробки та керуюча програма у FeatureSAM



КНУ.КБР.131.25.1-07.МПМО	Лист	Маса	Масштаб
Моделювання процесу механічної обробки	Н		1:1
	Арк.	Аркушів	1
	Кафедра ТМ		
	зр. ПМ-22ск		

Первинне застосування	Довідковий №	КНУ.КБР.131.25.1-07.МО.2Д.3А				
Підп. и дата	Інв. № дідл.	Зам. інв. №	Підп. и дата	Інв. № ар.	КНУ.КБР.131.25.1-07.МО.2Д.3А	
Зм. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розрад.	Пироженко			Н		1:1
Перев.	Бондар			Арк.	Аркциві	1
Т.контр.				Кафедра ТМ		
З.нач.від.				гр. ПМ-22ск		
Н.контр.	Нечаєв					
Затв.	Рязанцев					