

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: Спеціальний різальний інструмент для обробки поверхонь деталі «Вал-шестерня» та його інженерний аналіз з використанням САПР-технологій

Виконав: здобувач групи ПМ-22
Кобіцький Б.Е.

Керівник випускної роботи:
доцент, к.т.н., Рязанцев А.О.

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: Спеціальний різальний інструмент для обробки поверхонь
деталі «Вал-шестерня» та його інженерний аналіз з використанням
САПР-технологій

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Богдан КОБИЦЬКИЙ

Керівник КБР

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

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 Кобіцького Богдана Едуардовича

1. Тема: Спеціальний різальний інструмент для обробки поверхонь деталі «Вал-шестерня» та його інженерний аналіз з використанням САПР-технологій

Керівник проєкту: доц., к.т.н. Рязанцев А.О.

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

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

3. Вихідні дані до роботи: 1. Найменування вузла. 2. Креслення деталі «Вал-шестерня». 3. Річна програма випуску деталей

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі. 2. Технологічна підготовка виробництва деталі. 3. Вибір різальних 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-шестерня. 2. Верстатно-інструментальне налагодження. 3. Черв'ячна модульна фреза. 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.	Креслення деталі (А1-А4).	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 різальної частини інструментів.	12.04.2026
9.	Розрахунок конструктивних параметрів різальної частини інструменту.	19.04.2026
10.	Вибір розмірів різального інструменту.	25.04.2026
11.	Креслення спеціального різального інструменту (А2-А4).	01.05.2026
12.	Креслення з інженерним аналізом спеціального різального інструменту	04.05.2026
13.	Вибір допоміжних інструментів.	08.05.2026
14.	Розробка та креслення об'єднаного верстатно-інструментального налагодження (А1-А2)	12.05.2026
15.	Моделювання та програмування операцій механічної обробки	15.05.2026
16.	Креслення змодельованого процесу обробки (А1-А2)	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	15.06.2026

Дата видачі завдання: «_____» _____ 2026 р.

Завдання видав керівник КБР _____

/Рязанцев А.О./

Завдання отримав
здобувач освіти _____

/Кобіцький Б.Е./

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до КРБ містить: 53 стор., 44 рисунки, 16 таблиць, 5 листів графічної частини.

Тема кваліфікаційної роботи передбачає комплексне вирішення завдань проектування, вибору матеріалу, розробки технологічного процесу виготовлення, а також аналітичного та програмного обґрунтування параметрів різального інструменту в цифровому середовищі (з використанням, зокрема, можливостей систем типу SolidWorks).

Об'єктом дослідження є процес конструкторсько-технологічної підготовки виготовлення деталі машинобудівного призначення типу «Вал-шестерня».

Предметом дослідження є методи та засоби проектування і технологічного забезпечення виготовлення вал-шестерні, а також параметри різального інструменту та режими механічної обробки, обґрунтовані з використанням САПР-технологій.

Сучасний етап розвитку машинобудування характеризується широким впровадженням цифрових технологій проектування та підготовки виробництва, зокрема систем автоматизованого проектування (САПР). У структурі механічних приводів відповідальне місце займають зубчасті передачі, базовими елементами яких є вал-шестерні – деталі, що поєднують у собі функції передавання крутного моменту та зачеплення з іншими зубчастими колесами.

Таким чином, дослідження охоплює як конструкторський, так і технологічний аспекти підготовки виробництва деталі машинобудівного призначення із застосуванням сучасних CAD/CAM-рішень.

Особливої актуальності набуває науково обґрунтований вибір геометричних параметрів різального інструменту при обробці зубчастих поверхонь, що безпосередньо впливає на точність передачі та довговічність механізму в цілому.

Отже, дослідження, спрямоване на інтеграцію конструкторських і технологічних рішень у єдиному цифровому середовищі, є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору.

ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ, ЧЕРВ'ЯЧНА ФРЕЗА, ПРОДУКТИВНІСТЬ, СОБІВАРТІСТЬ, РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ.

					КНУ.КБР.131.26.1-12.Р			
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата				
Розроб.	Кодицький				Реферат	Літ.	Арк.	Арк.шіт
Перевір.	Рязанцев							
Реценз.								
Н. контр.	Нечасів					Каф. ТМ, гр. ПМ-22		
Зав. каф.	Рязанцев							

ABSTRACT

The explanatory note to QBW contains: 53 pages, 44 figures, 16 tables, 5 sheets of the graphic part.

The topic of the qualification thesis involves a comprehensive solution to the tasks of design, material selection, development of the manufacturing process, as well as analytical and software-based justification of cutting tool parameters in a digital environment (including, in particular, the capabilities of systems such as SolidWorks).

The object of the research is the process of design and technological preparation for manufacturing a machine-building component of the “gear shaft” type.

The subject of the research is the methods and means of design and technological support for the manufacturing of a gear shaft, as well as the parameters of cutting tools and machining modes justified using CAD technologies.

The current stage of mechanical engineering development is characterized by the widespread implementation of digital design and production preparation technologies, particularly computer-aided design (CAD) systems. In the structure of mechanical drives, an important role is played by gear transmissions, whose basic elements are gear shafts — components that combine the functions of torque transmission and meshing with other gears.

Thus, the research covers both the design and technological aspects of production preparation for a machine-building component using modern CAD/CAM solutions.

Of particular relevance is the scientifically justified selection of geometric parameters of cutting tools in the machining of gear surfaces, which directly affects transmission accuracy and the overall durability of the mechanism.

Therefore, the research aimed at integrating design and technological solutions within a unified digital environment is relevant from both scientific and practical perspectives.

GEAR SHAFT, HOB CUTTER, PRODUCTIVITY, COST, CUTTING TOOL.

					КНУ.КБР.131.26.1-12.Р	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі	9
1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних	9
1.2 Призначення об'єкту виробництва, як елементу вузла, механізму машини з характеристикою будови, принципів роботи, характеристикою кінематичних та силових ланцюгів та передач машини	10
1.3 Розрахунок параметрів точності шпонкового з'єднання	11
2 Технологічна підготовка виробництва деталі	13
2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів заміन	13
2.2 Аналіз якості поверхонь деталей	13
2.3 Технічний контроль робочого креслення	16
2.4 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання	16
3 Вибір ріжучих та допоміжних інструментів за міжнародними стандартами	21
3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі	21
3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів	29
3.3 Вибір типорозміру різальних інструментів	30
3.4 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту	31
3.5 Вибір типорозміру допоміжних інструментів	32
4 Проектування та інженерний аналіз різального інструменту	34
4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту	34
4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	37
5 Моделювання та програмування операцій механічної обробки	40
5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора	40
5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм	42
6 Організаційно-економічна підготовка виробництва	45
6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників	45
6.2 Екологія виробництва та охорона праці при обробці з утворенням зливної стружки на токарних операціях	49
Висновки	52
Список використаних джерел	53

					КНУ.КБР.131.26.1-12.3			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст	Літ.	Арк.	Аркциів
Розроб.		Кодіцький						
Перевір.		Рязанцев						
Реценз.								
Н. контр.		Нечаєв				Каф. ТМ, гр. ПМ-22		
Зав. каф.		Рязанцев						

ВСТУП

Металорізальний інструмент - інструмент, призначений для зміни форми та розмірів заготовки шляхом видалення частини матеріалу у вигляді стружки, або шламу, тобто різальний інструмент використовується для оброблення матеріалів різанням. Оброблення різанням – вид механічного оброблення, яке полягає в утворенні нових поверхонь шляхом відділення поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки. Способи обробки металів тиском і литтям, як правило, не дають необхідної точності розмірів і чистоти поверхні заготовок (винятки складають спеціальні види лиття і холодне штампування). Тому куванням, штампуванням і литтям в більшості випадків виготовляють заготовки (напівфабрикати), що потребують додаткової обробки. Остаточна обробка виконується різанням, яке полягає в знятті з поверхонь заготовки визначеного шару металу, що залишається спеціально для цього. Шар металу, що знімається з металу, називається припуском на обробку. В результаті видалення припуску заготовка набуває точніших форми, розмірів та заданої шорсткості поверхонь, тобто перетворюється в деталь.

На цей вид оброблення припадає понад 90 % трудомісткості виготовлення більшості деталей. Для його реалізації існує ціла низка різноманітного металорізального обладнання, різного за розмірами, продуктивністю, ступенем автоматизації, яке забезпечує здійснення різних способів обробки різанням практично в усіх типах виробництва.

Обробка різанням є складним і дорогим процесом, який відрізняється значною трудомісткістю і значними втратами металу (при масовому виробництві зі стружкою втрачається 5 – 15 % металу, а при дрібносерійному і одиничному – до 25 %).

Обробка різанням включає дві множини способів її реалізації: лезову та абразивну обробки. Лезова обробка передбачає оброблення поверхонь заготовки одно- та багатолезовими інструментами – різцями, свердлами, фрезами, розвертками, протяжками та ін. Абразивна обробка – це обробка поверхонь абразивними інструментами, виготовленими з природних або штучних абразивних матеріалів, – абразивними кругами, сегментами, брусками, стрічками та вільними абразивами у вигляді порошків, паст тощо.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-12.В</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Вступ</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Кадицький</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Рязанцев</i>						
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Нечаєв</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Рязанцев</i>						
						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
							<i>Архів</i>
						<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>	

1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА ТА ДЕТАЛІ

1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних

Вихідною інформацією для виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи були робоче креслення деталі «Вал-шестерня» та складальної одиниці (вузла підвищення швидкості), до складу якого входить дана деталь, а також встановлена річна виробнича програма обсягом 1500 виробів. На рисунку 1.1 наведено тривимірну модель зазначеної деталі.

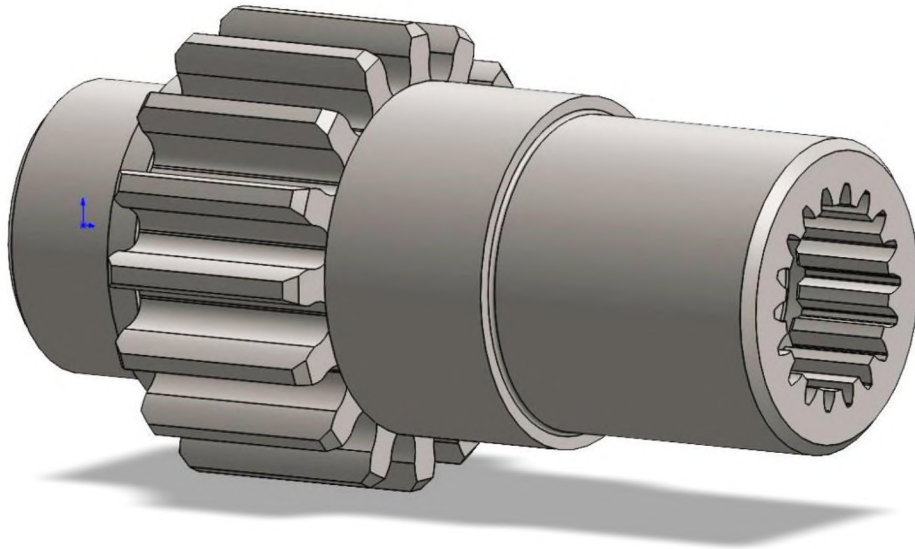


Рисунок 1.1 – Тривимірна модель деталі «Вал-шестерня»

Метою роботи є розроблення та обґрунтування конструкторсько-технологічних рішень виготовлення деталі «Вал-шестерня» із застосуванням САПР-технологій та визначення раціональних параметрів різального інструменту для забезпечення заданих експлуатаційних характеристик.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати конструктивні особливості деталі «Вал-шестерня» та умови її роботи.
2. Виконати 3D-моделювання деталі у середовищі САПР.
3. Обґрунтувати вибір матеріалу та способу отримання заготовки.
4. Розробити маршрутний процес виготовлення деталі.
5. Визначити та обґрунтувати параметри різального інструменту (геометрію, матеріал, покриття) для основних операцій механічної обробки.
6. Оцінити ефективність застосування САПР-технологій у процесі підготовки виробництва.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-12.01.АСПМ</i>		
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата			
Розроб.	Кодіцький				Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі		
Перевір.	Рязанцев						
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв						
Заб. каф.	Рязанцев						
					Літ.	Арк.	Аркциів
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22		

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

Вал-шестерня є складовою частиною вузла підвищення швидкості (рис. 1.2), який може бути підключений до гідравлічного насоса, а саме коробки швидкостей. Вузол підвищення швидкості – це елемент гідравлічної системи, призначений для збільшення швидкості руху виконавчих механізмів без необхідності підвищення продуктивності гідравлічного насоса.

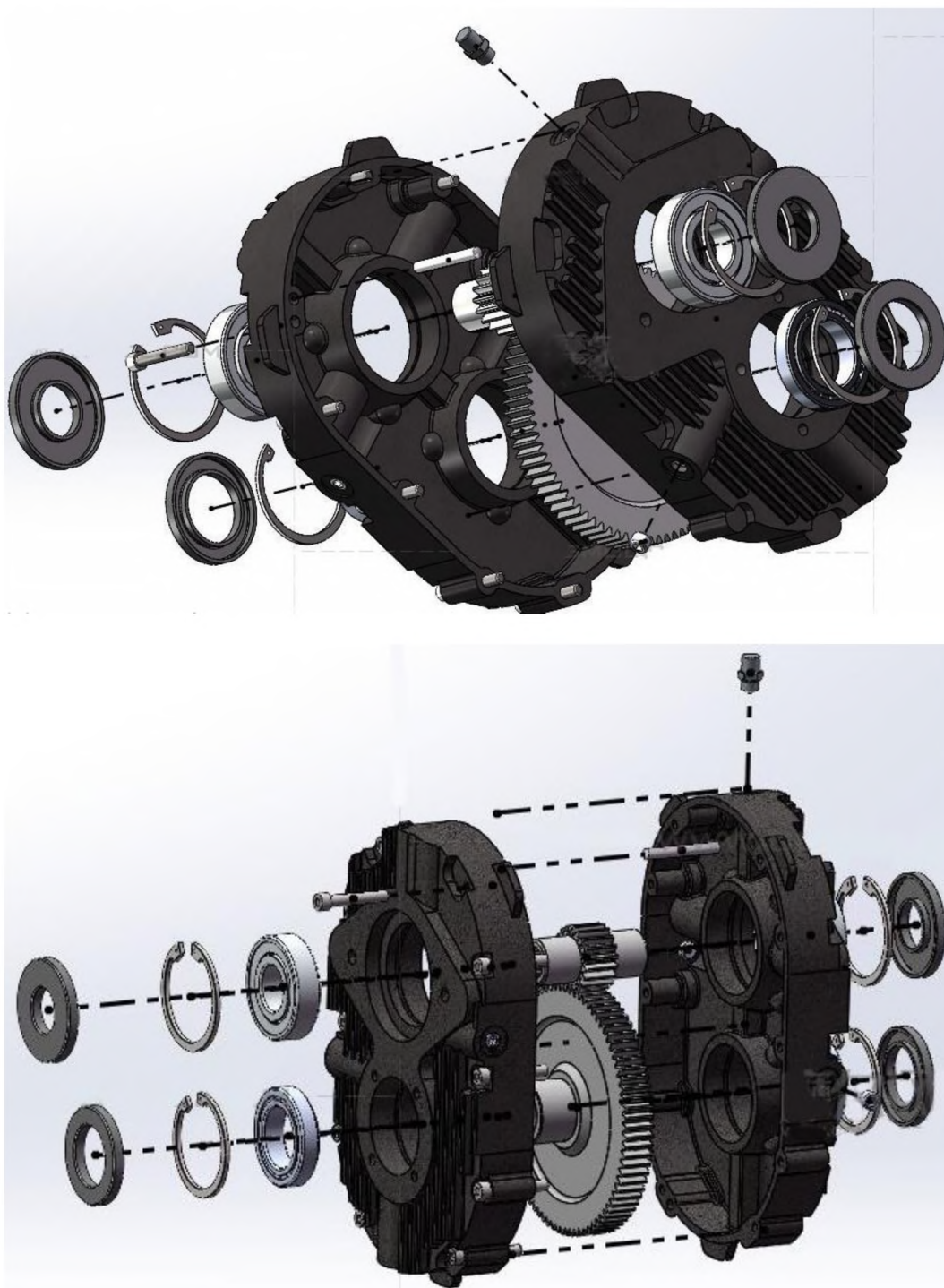


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд вузла підвищення швидкості

					КНУ.КБР.131.26.1-12.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Вузол підвищення швидкості може бути підключений до гідравлічного насосу. Дана модель включає пару корпусів, провідну шестерню, ведену шестерню (задана деталь), модуль з 3 елементів, два конічних роликів підшипника 32012, два кулькових підшипника глибокого паза 6309, сальники і еластичні стопорні кільця для отворів. Монтажні отвори дозволяють підключати різні масляні насоси.

Основне призначення вузла полягає у забезпеченні швидкого переміщення штока гідроциліндра або інших виконавчих механізмів, особливо під час холостого ходу. Крім того, він сприяє підвищенню енергоефективності гідросистеми, оскільки зменшує потребу у використанні насосів великої продуктивності. Це дозволяє оптимізувати роботу обладнання, зокрема у технологічних циклах, де необхідне поєднання швидкого підведення, повільного робочого ходу під навантаженням і швидкого повернення.

Вузли підвищення швидкості широко застосовуються у промисловому обладнанні, такому як гідравлічні преси, металообробні верстати, підйомно-транспортні механізми та будівельна техніка.

До основних переваг таких вузлів належать зменшення енергоспоживання, підвищення швидкості виконання операцій, компактність і ефективніше використання ресурсів системи. Водночас існують і певні обмеження: при збільшенні швидкості руху зменшується зусилля виконавчого механізму, а також виникає потреба у точному налаштуванні гідравлічних елементів.

1.3 Розрахунок параметрів точності з'єднання

На поверхню вала-шестерні ($\varnothing 70k6$) встановлюється підшипник 6309. Проведемо розрахунок параметрів точності з'єднання шийки вал-шестерні з підшипником (0 клас точності). Визначимо найбільший і найменший натяг при посадці внутрішнього кільця підшипника на вал. Для цього встановимо граничні відхилення внутрішнього діаметра підшипника та діаметра вала.

Граничні відхилення становлять:

для внутрішнього діаметру підшипника $\varnothing 60L0$:

$$ES = 0 \text{ мкм} \quad EI = -15 \text{ мкм}.$$

для вала $\varnothing 70k6$:

$$es = +21 \text{ мкм}, \quad ei = +2 \text{ мкм}$$

У з'єднанні підшипник – вал натяги становлять:

$$N_{max} = es - EI = 21 - (-15) = 36 \text{ мкм}$$

$$N_{min} = ei - ES = +2 - 0 = 2 \text{ мкм}$$

Побудовано схему полів допусків з'єднання «підшипник (внутрішнє кільце) – вал» (рис. 1.3), а також наведено його загальний вигляд (рис. 1.4).

					КНУ.КБР.131.26.1-12.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

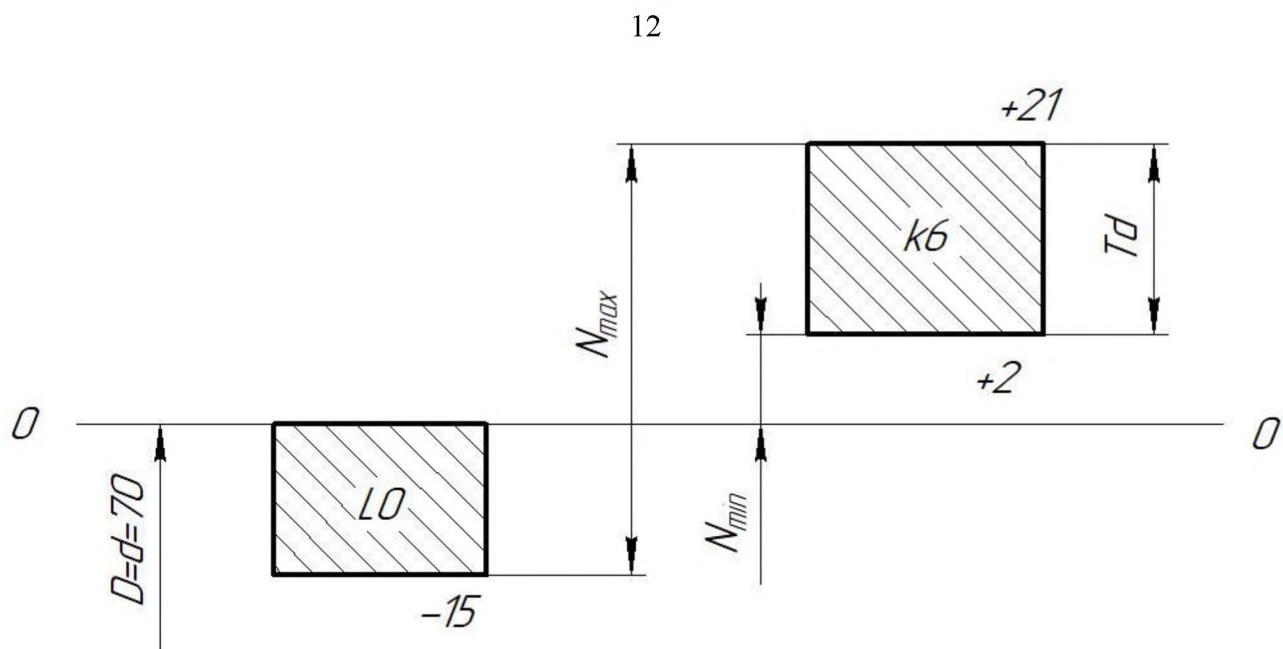


Рисунок 1.3 – Схема полів допусків з'єднання підшипник - вал

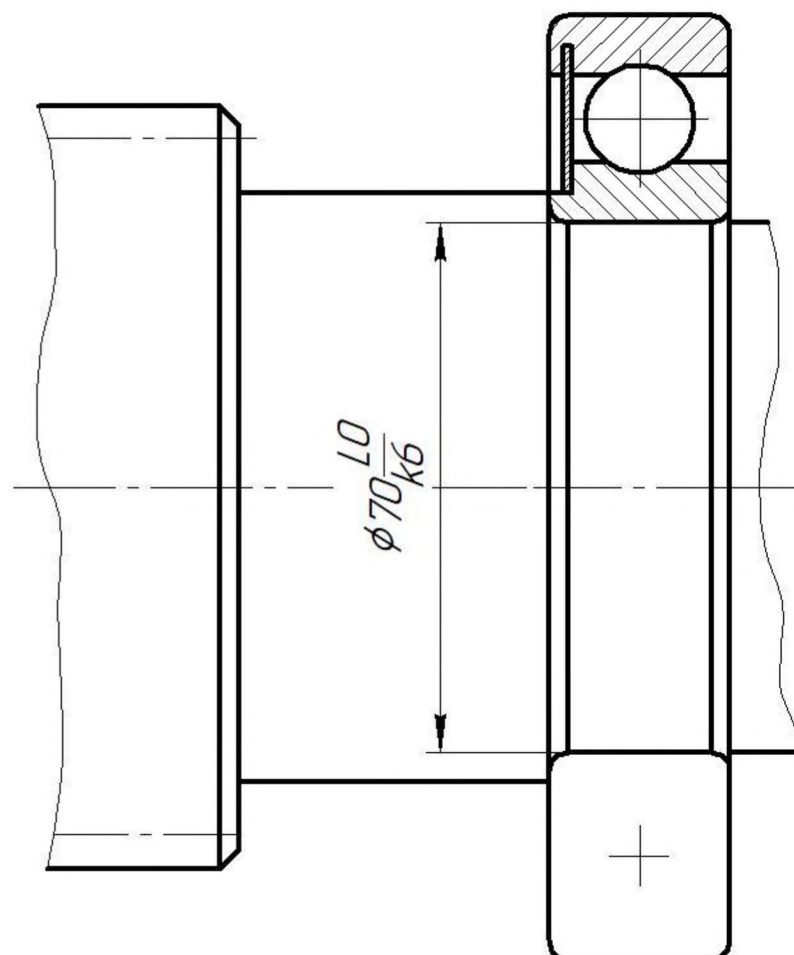


Рисунок 1.4 – Ескіз підшипникового вузла

					КНУ.КБР.131.26.1-12.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін

Деталь «вал-шестерня» призначена для передачі обертального руху та крутного моменту між ланками механізму із одночасною зміною частоти обертання. Вона поєднує в собі функції вала та зубчастих коліс і застосовується як проміжний елемент у багатоступеневих передачах.

Конструктивно деталь виконана у вигляді ступінчастого вала з двома зубчастими вінцями різного модуля, що дозволяє забезпечити передачу руху між різними ступенями редуктора або мультиплікатора. Один зубчастий вінець сприймає обертання від попередньої ланки передачі, а інший – передає його наступній ланці з відповідною зміною кінематичних параметрів.

У процесі роботи деталь зазнає дії: крутного моменту; контактних напружень у зоні зачеплення зубців; вигинальних напружень; зношування робочих поверхонь зубців і шийок під підшипники.

Для забезпечення необхідної міцності, зносостійкості та довговічності вал-шестерня виготовляється з легованої сталі (40Х) з подальшою термічною обробкою робочих поверхонь зубців.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 40Х ДСТУ 7806:2015

C	Si	Mn	Cu	S	P	Ni	Cr
0.36-0.44	0.17-0.37	0.5-0.8	до 0.3	до 0.035	до 0.035	до 0.3	0.8-1.1

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі 40Х (ДСТУ 7806:2015)

σ_T , МПа	$\sigma_{\text{вр}}$, МПа	δ_5 , %	ψ , %	КСУ, кДж/м ²	Термообробка
не менш					
780	980	10	45	690	Гартування 860°C, охолодження в мастилі Відпуск 500°C, охолодження в воді або в мастилі

2.2 Аналіз якості поверхонь деталей

Проведемо аналіз поверхонь деталі, попередньо пронумерувавши кожну з них (рис. 2.1). Відповідно до виконаної нумерації визначається послідовність технологічної обробки, наведена в таблиці 2.3.

					КНУ.КБР.131.26.1-12.02.ТПВД				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Технологічна підготовка виробництва деталі	Літ.	Арк.	Арк.зміщ	
Розроб.		Кодіцький							
Перевір.		Рязанцев							
Реценз.									
Н. контр.		Нечаєв							
Зав. каф.		Рязанцев							
						Каф. ТМ, гр. ПМ-22			

Таблиця 2.3 – Вибір і обґрунтування послідовності обробки

№ пов.	Розмір, мм	Шосткість, Ra	Допуск, IT	Послідовність технологічних методів обробки	Примітка
1	2	3	4	5	6
9	L198	Ra 12,5	IT14	Чорнове розточування	
1	Ø 65k6	Ra 12.5 Ra 6,3 Ra 3,2 Ra 1,6	IT14 IT 10 IT 8 IT 6	Чорнове розточування Півчистове розточування Чистове розточування Шліфування	
2	Ø98h12	Ra 12.5 Ra 6.3 Ra 3.2	h14 h14 h14	Чорнове обточування Півчистове обточування Чистове обточування	 0.06 B
3,15	Ø78h12	Ra 12.5	h14	Чорнове розточення	
4	Ø111,9h12	Ra 12,5	h12	Чорнове точіння	 0.05 B
5,17	50h12	Ra 12.5	h12	Чорнове підрізання	
6	R1 2 радіуси	Ra 12.5	h14	Чорнове точіння	
7	Ø70k6	Ra 12.5 Ra 6.3 Ra 3.2 Ra 1.6	h14 h10 h8 k6	Чорнове обточування Півчистове обточування Чистове обточування Шліфування	
8	Ø70k6	Ra 12.5	k6	Чорнове підрізання	 0.02 B
10	Ø30	Ra 12.5	H14	Свердління	
11	Ø54H14	Ra 12.5	H14	Чорнове розточування	
12	Ø54H12	Ra 12.5	H14	Чорнове точіння	
13	Ø41H12	Ra 12.5	H12	Чорнове точіння	
14	m=2.5, Z=18 Dд=45	Ra 12,5 Ra 6,3	IT8	Зубофрезерування	
16	m=6, Z=16 Dд=96	Ra 3.2	IT8	Зубофрезерування	
18	R2 2 радіуси	Ra 12.5	h14	Чорнове точіння	
19	Ø78h12	Ra 12,5 Ra 6,3 Ra 3,2	IT14 IT12 h12	Чорнове розточування Пів.Чист розточування Чистове розточування	
20	4 фаски 2,5x45°	Ra 12.5	IT14	Чорнове розточення	

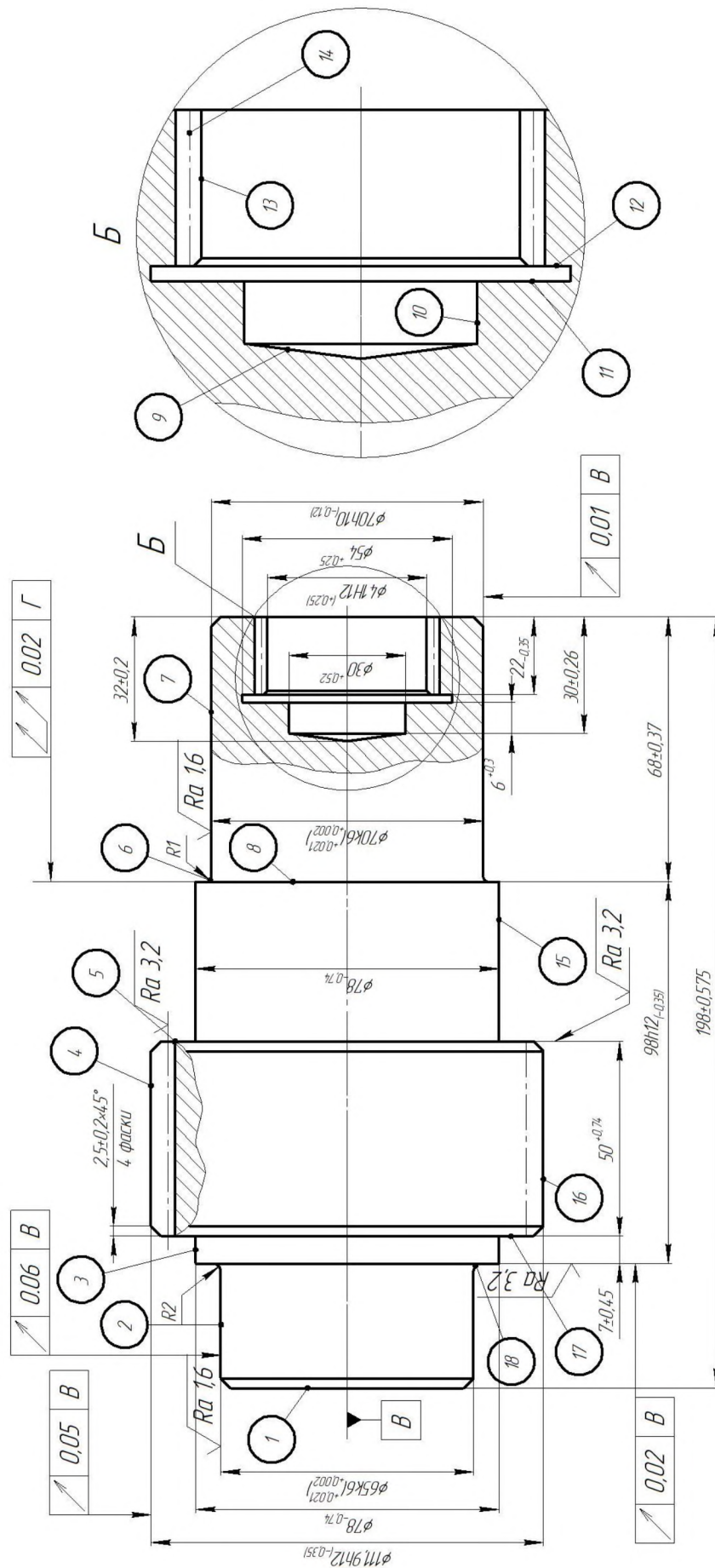


Рисунок 2.1 – Нумерація поверхонь деталі «Вал-шестерня»

КНУ.КБР.131.26.1-12.02.ТПВД					Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата	

2.3 Технічний контроль робочого креслення

Робоче креслення деталі «Вал-шестерня» виконано на аркуші формату А2 та містить основні дані, необхідні для її виготовлення та контролю, і в цілому відповідає вимогам стандартів конструкторської документації. На кресленні подано достатню кількість зображень для розуміння конструкції деталі, відображено ступінчасту форму вала та розташування зубчастих вінців. Основні та приєднувальні розміри нанесені, що забезпечує можливість виготовлення і складання деталі.

Розміри супроводжуються допусками і посадками, зокрема для посадкових поверхонь під підшипники та елементи передачі. Також задані загальні допуски на невказані розміри. Наявні допуски форми і розташування, що дозволяє контролювати точність виготовлення. Разом з тим, спостерігається деяке перевантаження креслення допусками, що може ускладнювати його читання.

На кресленні зазначені параметри шорсткості поверхонь, які диференційовані залежно від функціонального призначення ділянок. Для відповідальних поверхонь прийняті менші значення шорсткості, що відповідає умовам роботи деталі. У правому верхньому куті креслення міститься інформація щодо невказаної шорсткості поверхонь деталі.

Матеріал деталі – легована сталь 40Х – обраний обґрунтовано з урахуванням дії змінних і контактних навантажень. Передбачена термічна обробка (гартування струмами високої частоти) до твердості 50-55 HRC, що забезпечує підвищену зносостійкість зубчастих вінців.

Креслення містить повний набір параметрів зубчастого зачеплення: модулі, число зубців, коефіцієнти зміщення, ступінь точності та посилання на відповідні стандарти. Це дозволяє виконати виготовлення зубчастих вінців із заданими кінематичними та експлуатаційними характеристиками. Конструкція деталі є технологічною: передбачені фаски, радіуси заокруглень, стандартні посадки, що полегшує механічну обробку. Разом з тим, ступінчаста форма вала може вимагати декількох установок при обробці, а базові поверхні не завжди чітко виділені.

2.4 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання

Технологічний процес виготовлення заданої деталі включає послідовний перелік операцій, представлений у таблиці 2.4. Вибране обладнання наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.4 – Технологічний процес виготовлення деталі

№ опер.	Найменування операції	Зміст операції	Обладнання
1	2	3	4
001	Заготівельна	Різання заготовки з прокату або поковки з припуском	Відрізний верстат

					КНУ.КБР.131.26.1-12.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
005	Чорнова токарна	Обробка зовнішніх поверхонь, торців, формування ступенів	Токарний автомат з ЧПУ Nextturn NST-56/67
010	Напівчистова токарна	Уточнення розмірів, обробка посадочних місць, канавок, фасок	
015	Чистова токарна	Досягнення точних розмірів і шорсткості відповідальних поверхонь	
020	Зубонарізна	Нарізання зубців методом обкатування	Зубофрезерний верстат з ЧПУ HELIOS K160-R
025	Термічна обробка	ТВЧ гартування зубчастих вінців до 50-55 HRC, відпуск	Установка ТВЧ
030	Шліфувальна	Шліфування шийок під підшипники та базових поверхонь	Круглошліфувальний верстат DANOBATGROUP CG-1000
035	Контрольна	Контроль розмірів, шорсткості, твердості, співвідносності, точності зубців	Контрольно-вимірювальні прилади

Таблиця 2.5 – Вибір металорізальних верстатів пообробці поверхонь деталі

№ поверхні	Найменування операції	Тип верстату
1,5, 15,17	Чорнове підрізання Пів чистове підрізання торця Чистове підрізання	Nextturn NST-56/67
1,7	Шліфування	DANOBATGROUP CG-1000
2,7	Чорнове обточування Пів чистове обточування Чистове обточування	Nextturn NST-56/67
3,11, 12	Чорнове розточення	Nextturn NST-56/67
9,10	Свердління	Nextturn NST-56/67
6,18	Чорнове точіння	Nextturn NST-56/67
14, 16	Нарізання шестерні	HELIOS K160-R

Усі операції окрім шліфування та зубофрезерування виконуємо на токарному верстаті Nextturn NST-56/67 (рис. 2.2), його технічні характеристики наведено в таблиці 2.6. Операцію зубофрезерування буде проводитись на верстаті з ЧПУ HELIOS K160-R (рис. 2.3), технічні характеристики в табл. 2.7. Для шліфування поверхонь валу, обираю круглошліфувальний верстат DANOBATGROUP LG-600 (рис. 2.4, табл. 2.8).

					КНУ.КБР.131.26.1-12.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.2 – Високошвидкісний, високоточний токарний автомат з ЧПУ Nextturn NST-56/67

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики токарного верстата Nextturn NST-56/67

Параметр	Значення
Тип верстата	Токарний автомат поздовжнього точіння
Система ЧПК	FANUC 31i Model A
Максимальний діаметр прутка	до 56 мм
Тип подачі заготовки	Автоматична
Тип шпинделя	Головний шпиндель + протишпиндель
Привід шпинделя	Прямий привід
Револьверна головка	Є, багатопозиційна
Діаметр посадкового отвору	близько 45 мм
Точність	Висока
Система приводу осей	Серводвигуни
Додаткові можливості	Синхронна обробка

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики верстата HELIOS K160-R

Параметр	Значення
1	2
Призначення	Нарізання циліндричних зубчастих коліс і вал-шестерень
Максимальний діаметр обробки	до 260 мм
Максимальний модуль	до 8 мм

					КНУ.КБР.131.26.1-12.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.7

1	2
Максимальна довжина заготовки	до 250–300 мм
Тип обробки	Обкатування (черв'ячною фрезою)
Частота обертання шпинделя деталі	до 200–500 об/хв
Частота обертання фрези	до 1500–3000 об/хв
Потужність головного приводу	5–10 кВт
Клас точності	7-8 ступінь
Тип інструменту	Черв'ячні модульні фрези
Габарити верстата	~1800×1400×1700 мм
Маса	~2,5–4 т



Рисунок 2.3 – Зубофрезерний верстат з ЧПУ HELIOS K160-R

Таблиця 2.8 – Характеристика верстату DANOBATGROUP LG-600

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Відстань між центрами	mm	600
Шліф.діаметр	mm	440
Маса між центрами	kg	80/250
Діаметр шліф.круга	mm	760
Перефійна швидкість круга	m/s	80

					КНУ.КБР.131.26.1-12.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.4 – Круглошліфувальний верстат DANOBATGROUP LG-600

					КНУ.КБР.131.26.1-12.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

3 ВИБІР РІЗАЛЬНИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ

3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі

У відповідності до послідовності технологічних операцій обробки деталі «Вал-шестерня», підбраного верстатного обладнання та на основі даних таблиці 2.5 здійснюємо вибір необхідного металорізального інструменту. Групу інструментальних матеріалів визначаємо залежно від марки матеріалу, з якого виготовлена деталь.

Обираємо інструмент з каталогу Seco [1].

Поверхні 1, 19 – чорнове, напівчистове, чистове підрізання торця.

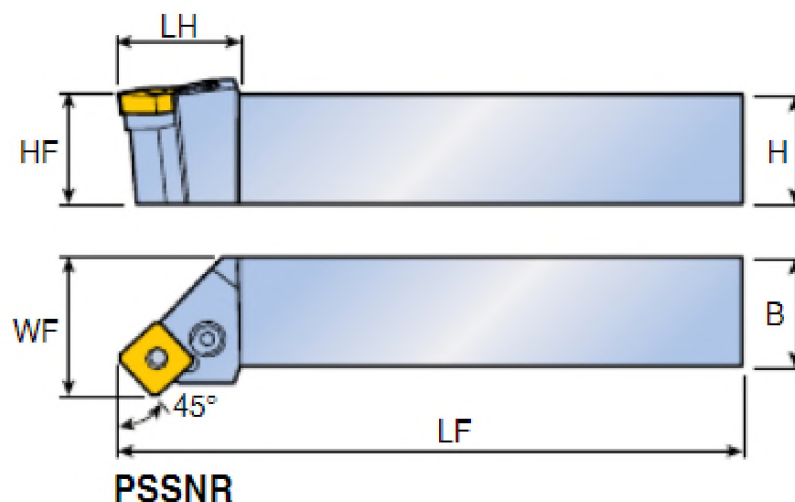


Рисунок 3.1 – Державка PSSNR/L 2525M12 [1, с. A76]:
h=25mm , b=25mm , lh=30mm ,lf= 150mm , wf= 32mm

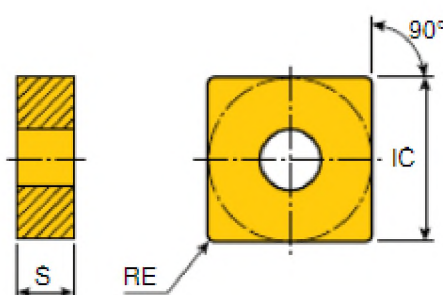


Рисунок 3.2 – Пластина SNMA120408, CVD покриття: TT8115B [1, с. A268]:
IC= 12.7mm, S=4.76 mm, RE= 0.4-1.6mm

					КНУ.КБР.131.26.1-12.03.ВРДІ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Кодіцький			Вибір ріжучих та допоміжних інструментів за міжнародними стандартами			Літ.	Арк.	Архів
Перевір.		Рязанцев								
Реценз.								Каф. ТМ, гр. ПМ-22		
Н. контр.		Нечаєв								
Зав. каф.		Рязанцев								

Поверхні 2, 7 – обточування.

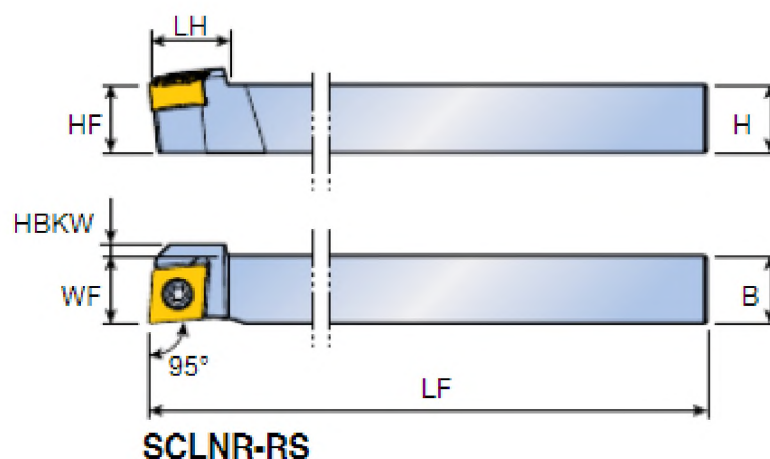


Рисунок 3.3 – Державка SCLNR 1212 K0904-RS [1, с.А84]:
 $h=12\text{mm}$, $b=12\text{mm}$, $lh=14\text{mm}$, $lf=125\text{mm}$, $wf=12\text{mm}$

Пластина для чорнового точіння:

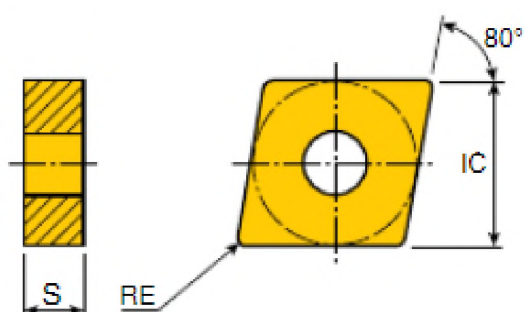


Рисунок 3.4 – Пластина CNMA090412, CVD покриття: TT8125B [1, с. A250]:
 $IC=15.88\text{mm}$, $S=6.35\text{ mm}$, $RE=1.2-1.6\text{mm}$

Пластина для напівчистового точіння:

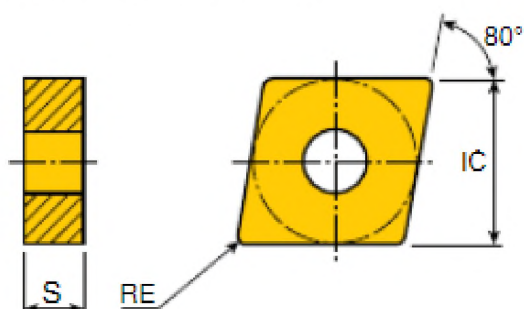


Рисунок 3.5 – Пластина CNGG-090408ML, PVD покриття: TT5080 [1, с. A250]:
 $IC=15.88\text{mm}$, $S=6.35\text{ mm}$, $RE=1.2-1.6\text{mm}$

Пластина для чистового точіння:

					КНУКБР.131.26.1-12.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

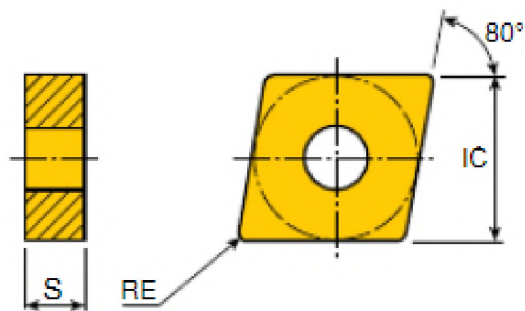


Рисунок 3.6 – Пластина CNMG-090408EA, CVD покриття: TT5080 [1, с. A252]:
 $IC = 15.88\text{mm}$, $S = 6.35\text{ mm}$, $RE = 1.2\text{-}1.6\text{mm}$

Поверхні 3, 15 – чорнове, напівчистове, чистове підрізання торця.

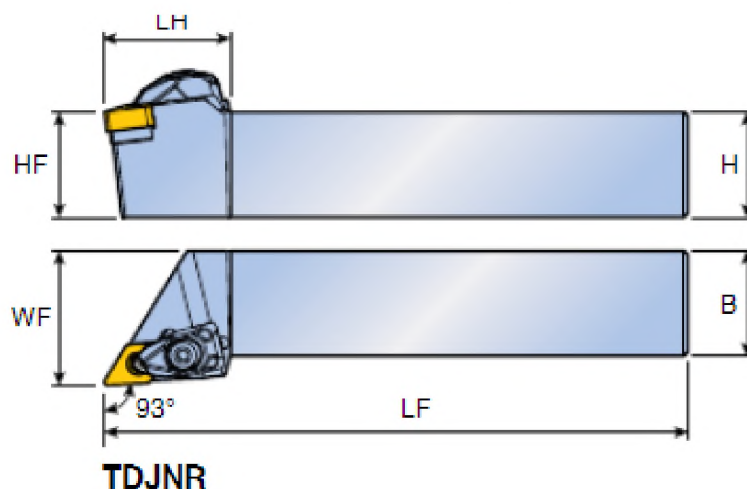


Рисунок 3.7 – Державка TDJNR 2525 M15 [1, с. A113]:
 $h = 25\text{mm}$, $b = 25\text{mm}$, $lh = 39\text{mm}$, $lf = 150\text{mm}$, $wf = 32\text{mm}$

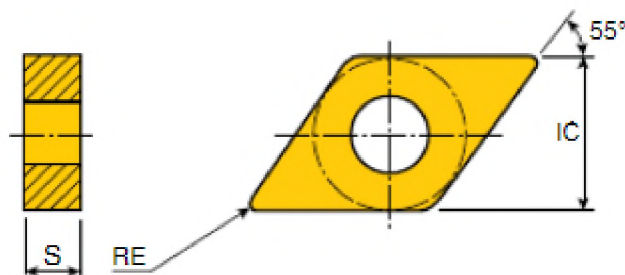


Рисунок 3.8 – Пластина DNMG 150612 RT, покриття CVD: TT8125B [1, с. A264]:
 $IC = 12.7\text{mm}$, $S = 4.76\text{-}6.35\text{ mm}$, $RE = 0.4\text{-}1.6\text{mm}$

Поверхні 14, 15 – Зубофрезерування.

Для нарізання, обираємо черв'ячну твердосплавну фрезу [3]. Геометричні параметри фрези: $m = 6$, $d_1 = 140$, $l_1 = 150$, $d_2 = 40$.

					КНУКБР.131.26.1-12.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

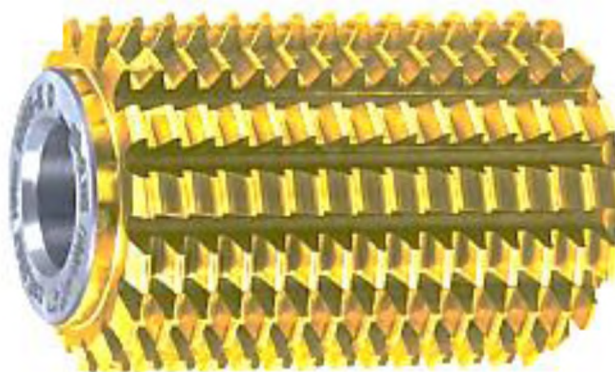


Рисунок 3.9 – Черв'ячна твердосплавна фреза [3, с.115]

Поверхні 5,17 – чорнове підрізання.

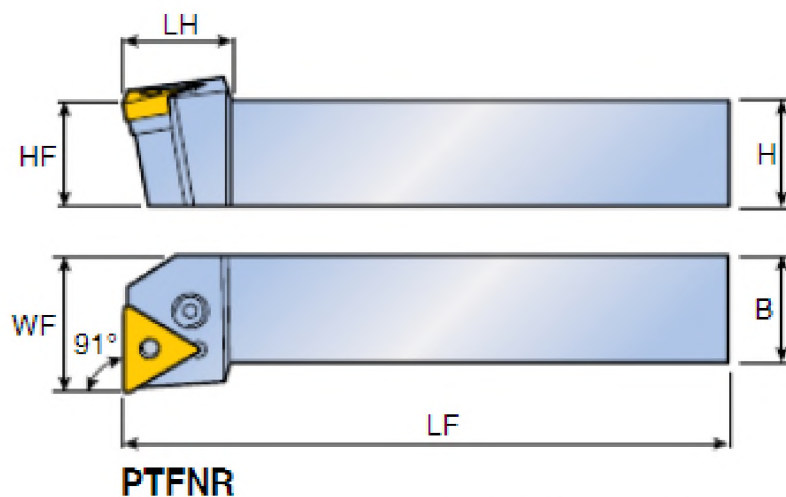


Рисунок 3.10 – Державка PTFNR 2525 M16 [1, с. A77]:
h=25mm, b=25mm, lh=20mm, lf= 150mm, wf= 32mm

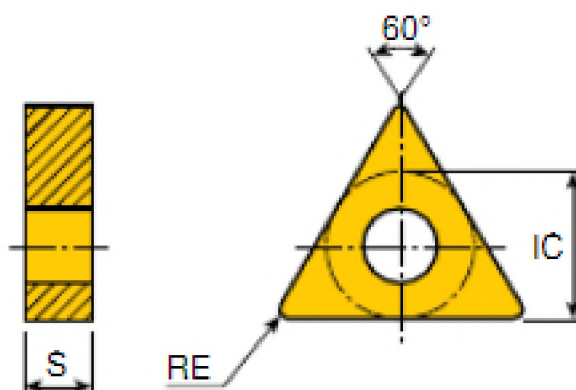


Рисунок 3.11 – Пластина TNMM 160408 RH, покриття CVD: TT8125B:
IC= 9.52mm, S=4.76 mm, RE= 0.4-1.2mm

					КНУ.КБР.131.26.1-12.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Поверхня 6, 18 – чорнове точіння.

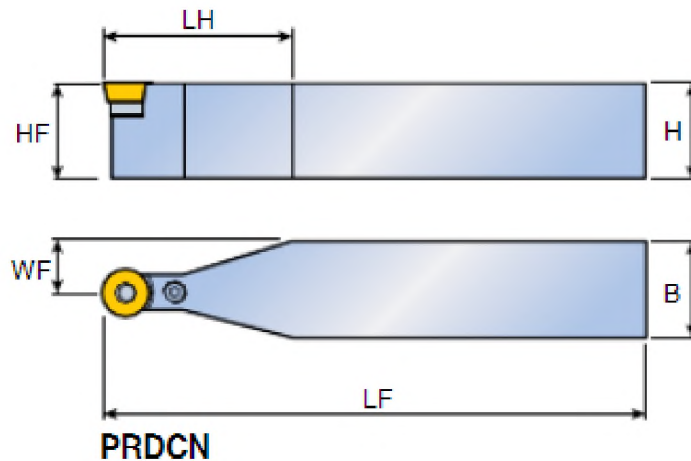


Рисунок 3.12 – PRDCN 2020K12 [1, с.А72]:
 $h=20\text{mm}$, $b=20\text{mm}$, $lh=50\text{mm}$, $lf=125\text{mm}$, $wf=10\text{mm}$

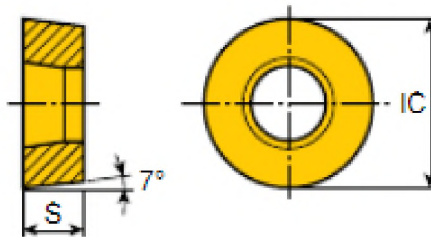


Рисунок 3.13 – Пластина RCMX 160600, CVD покриття: TT8125B:
 $IC=16\text{mm}$, $S=6.35\text{mm}$

Поверхня 8 – чорнове підрізання.

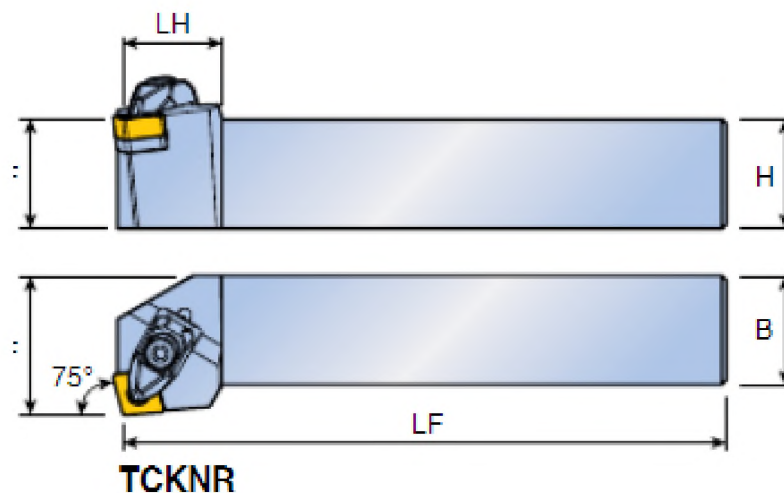


Рисунок 3.14 – Державка TCKNR 2525 M12 [1, с. А110]:
 $h=25\text{mm}$, $b=25\text{mm}$, $lh=25\text{mm}$, $lf=150\text{mm}$, $wf=32\text{mm}$

					КНУКБР.131.26.1-12.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

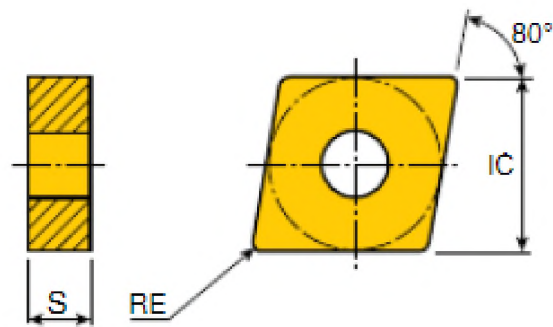
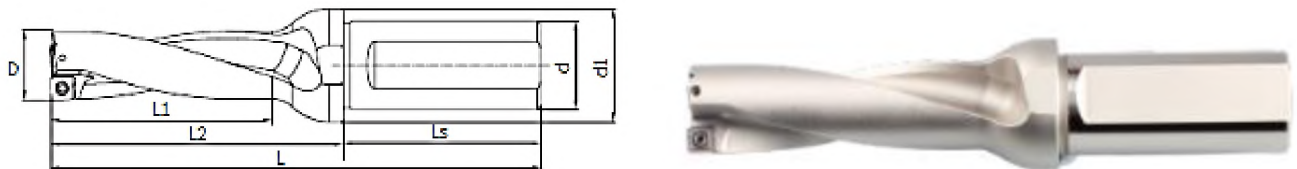


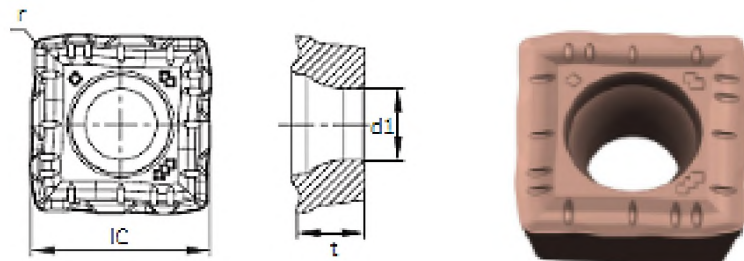
Рисунок 3.15 – Пластина CNMA120412, CVD покриття: TT8115B [1, с. A250]
IC= 15.88mm , S=6.35 mm , RE= 1.2-1.6mm

Поверхня 10 – свердління. Обираємо свердло [4].



Діаметр	Корпус сверла	Размер							Пластина
		D	d	d1	Ls	L2	L1	L	
Φ14.0	GHD-140-5D-FC20-Q04A	14.0	20	25	50	88	72	138	QPMG040204
Φ14.5	GHD-145-5D-FC20-Q04A	14.5	20	25	50	88	72	138	
Φ15.0	GHD-150-5D-FC20-Q04A	15.0	20	25	50	93	77	143	

Рисунок 3.16 – Свердло зі змінними багатограними пластинами GHD-150-5D-RF20-Q04A [4, с.113]



Тип	Сплав		Размер				Діаметр сверла
	GA4230	GS4130	IC	t	r	d1	
QPMG040204-DP	●	●	4.7	2.3	0.4	2.2	Φ14.0 ~ Φ15.9

Рисунок 3.17 – Змінна пластина QPMG040204-DP для свердла [4, стр.114]

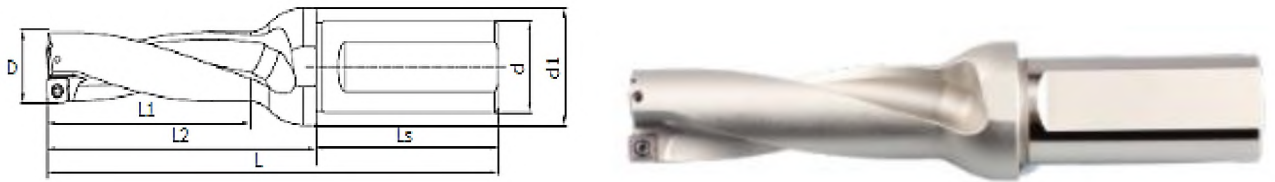


Рисунок 3.18 – Свердло GHD-300-2D-FC32-Q09A [4, с.113]:
 $D=30\text{mm}$, $d=32\text{mm}$, $d1=42\text{mm}$, $Ls=60\text{mm}$, $L2=89\text{mm}$, $L1=64$, $L=149\text{mm}$

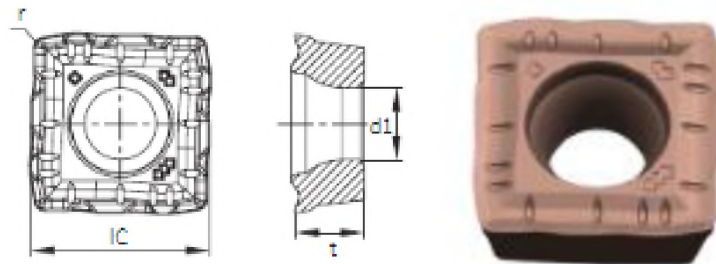


Рисунок 3.19 – Змінна пластина QPMG09T308 [4, с.114], сплав GA4230:
 $IC=9.7\text{mm}$, $t=3.97\text{mm}$, $r=0.8\text{mm}$, $d1=3.5\text{mm}$

Поверхні 11, 13 – чорнове розточування.

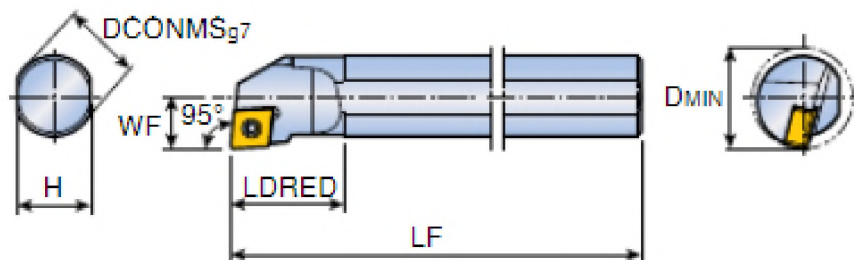


Рисунок 3.20 – Державка S16Q SCLNR 0904 [1, с. A200]:
 $h=15\text{mm}$, $lh=25\text{mm}$, $lf=180\text{mm}$, $wf=11\text{mm}$, $LDRED=25\text{mm}$

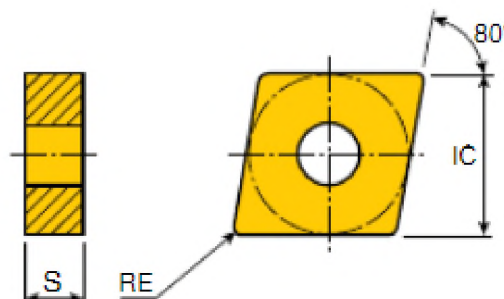


Рисунок 3.21 – Пластина CNMA090408, покриття CVD – TT81125B [1, с. A253]:
 $IC=9.52\text{mm}$, $S=4.76\text{mm}$, $RE=0.1-1.2\text{mm}$

Поверхня 12 – Обираю спеціальний канавочний різець.

					КНУ.КБР.131.26.1-12.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Поверхні 20, 4 – чорнове точіння.

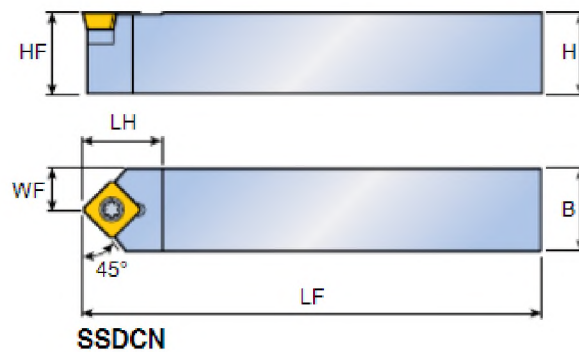


Рисунок 3.22 – Державка SSDCN1212F09 [1, с.А95]:
h=12mm, b=12mm, lh=15.5mm, lf= 80mm, wf= 6mm

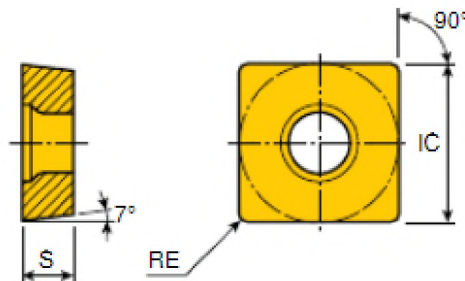
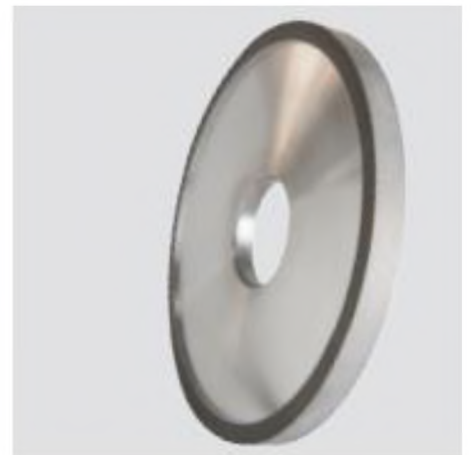
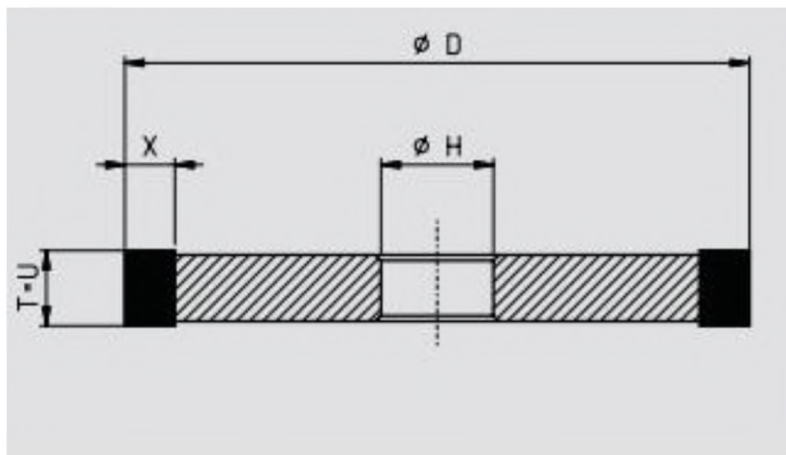


Рисунок 3.23 – Пластина SCMT09T308FG . CVD покриття – TT8125B [1, с.А304]

Шліфування поверхонь 1, 7 – обираємо шліфувальний круг [2].



DØ	T	X		Bonds available				
		X6	X10	Diamond			CBN	
50	6,8,10	•		CB4	RM5	RM6/7	CB9	RM9

Рисунок 3.24 – Шліфувальний круг [2, стр.50]

Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	КНУ.КБР.131.26.1-12.03.ВРДІ	Арк.

3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів

З огляду на фізико-механічні характеристики матеріалу деталі, вид обробки та застосовувані металорізальні верстати для вибраних інструментів визначають матеріал ріжучої частини, її геометричні параметри, а також матеріал державки, корпусу або хвостовика. Узагальнену інформацію наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вибір параметрів різальної частини інструментів

№ пов.	Тип інструменту	Матеріал різальної частини інструменту	Матеріал державки інструмента	Геометричні параметри різальної частини
1	2	3	4	5
1	Підрізний різець	Чорн.-ТТ8115В п/ч- ТТ8115В чис.ТТ8125В	Сталь 40	$\varepsilon = 90^\circ$
2,4	Прохідний різець	Чорн.-ТТ8115В п/ч- ТТ5080В чис.ТТ5080В	Сталь 40	$\varepsilon = 80^\circ$
3,15	Прохідний різець	Чорн.-ТТ8115В	Сталь 40	$\varepsilon = 80^\circ$
14, 16	Черв'ячна фреза	HSS	-	-
5,17	Підрізний різець	Чорн.-ТТ8125В	Сталь 40	$\varepsilon = 90^\circ$
6	Підрізний різець	Чорн.-ТТ8125В	Сталь 40	$\varepsilon = 90^\circ$
7	Прохідний різець	Чорн.-ТТ8115В п/ч- ТТ8115В чис.ТТ8125В	Сталь 40	$\varepsilon = 55^\circ$
8	Підрізний різець	Чорн.-ТТ8125В	Сталь 40	$\varepsilon = 60^\circ$
9	Прохідний упорний різець	Чорн.-ТТ8125В	Сталь 40	$\varepsilon = 80^\circ$
10	Свердло	GS4130	Сталь У10	-
11	Розточний різець	Чорн.-ТТ8125В	Сталь 40	$\varepsilon = 90^\circ$
12	Канавочний різець	Чорн.-ТТ8125В	Сталь 40	-
13	Прорізний різець	Чорн.-ТТ8115В	Сталь 40	$\varepsilon = 90^\circ$
18	Підрізний різець	Чорн.-ТТ8125В	Сталь 40	$\varepsilon = 90^\circ$
19	Підрізний різець	Чорн.-ТТ8125В	Сталь 40	$\varepsilon = 60^\circ$

					КНУ.КБР.131.26.1-12.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

3.3 Вибір типорозміру різальних інструментів

З урахуванням виду обробки, типу інструмента, параметрів його різальної частини та габаритів, визначених за умовою міцності, здійснюють вибір типорозмірів металорізальних інструментів. Отримані дані заносять до табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Вибір типорозміру інструментів

№ з/п пов.	Тип інструменту та пластини	Основні розміри інструменту, пластини	Матеріал різальної частини інструменту	Шифр інструменту за міжнародними стандартами
1	2	3	4	5
1	Підрізний різець	$h=25$, $b=25$, $lh=30$, $lf=150$, $wf=32$, $IC=12.7$, $S=4.76$, $RE=0.4-1.6$	Чорн.- TT8115B Пів.ч - TT8115B Чист - TT8125B	Чорн. – пів.чист, чист.- PSSNR/L 2525M12
2	Прохідний різець	$h=12$, $b=12$, $lh=14$, $lf=125$, $wf=12$ $IC=15.88$, $S=6.35$, $RE=1.2$	Чорн.- TT8115B Пів.ч - TT8115B Чист - TT8125B	Чорн. – пів.чист, чист.- SCLNR 1212 K0904-RS
3,15	Прохідний різець	$h=25$, $b=25$, $lh=39$, $lf=150$, $wf=32$. $IC=12.7$, $S=4.76-6.35$, $RE=0.4-1.6$	Чорн. - TT8115B	Чорн. -TDJNR 2525 M15
5,17	Підрізний різець	$h=25$, $b=25$, $lh=20$, $lf=150$, $wf=32$. $IC=9.52$, $S=4.76$, $RE=0.4-1.2$	Чорн. - TT8115B	Чорн. - PTFNR 2525 M16
6	Підрізний різець	$h=20$, $b=20$, $lh=50$, $lf=125$, $wf=10$. $IC=16$, $S=6.35$	Чорн. - TT8115B	Чорн. - PRDCN 2020K12
7	Прохідний різець	$h=12$, $b=12$, $lh=14$, $lf=125$, $wf=12$. $IC=16$, $S=6.35$	Чорн.- TT8115B Пів.ч - TT8115B Чист - TT8125B	Чорн. – пів.чист, чист.- SCLNR 1212 K0904-RS
8	Підрізний різець	$h=25$, $b=25$, $lh=25$, $lf=150$, $wf=32$. $IC=15.88$, $S=6.35$, $RE=1.2-1.6$	Чорн. - TT8115B	Чорн. - TCKNR 2525 M12
9	Прохідний різець	$h=12$, $b=12$, $lh=14$, $lf=125$, $wf=12mm$	Чорн.- TT8115B	Чорн. - SCLNR 1212 K0904-RS
10	Свердло	$D=30$, $d=32$, $d1=42$, $Ls=60$, $L2=89$, $L1=64$, $L=149$	GS4130	GHD-300-2D- FC32-Q09A

					КНУКБР.131.26.1-12.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
11	Розточний різець	$h=15, l_h=25, l_f=180, w_f=11, LDRED=25$	Чорн. - TT8115B	Чорн. - S16Q SCLNR 0904
13	Прорізний різець	$h=23, l_f=200, w_f=17, LDRED=35$ $IC=9.52, S=4.76, RE=1.2$	Чорн. - TT8115B	Чорн. - S25R TCLNR 0904
19	Підрізний різець	$h=25, b=25, l_h=25, f=150, w_f=32$	Чорн.- TT8115B Пів.ч - TT8115B Чист - TT8125B	Чорн. – пів.чист, чист.- PSSNR/L 2525M12
20	Прохідний різець	$h=12, b=12, l_h=15.5, l_f=80, w_f=6$	Чорн.- TT8115B	Чорн. – SSDCN1212F09

3.4 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту

Для одного з вибраних типів інструменту приймають найважчі умови експлуатації, які характерні для режиму чорнового оброблення. З урахуванням умов різання, зокрема фізико-механічних характеристик матеріалу заготовки, технічних параметрів верстата та встановлених режимів різання, визначають сили, що виникають у процесі обробки. Після цього проводять перевірку вибраного інструменту на відповідність вимогам міцності та жорсткості.

Далі виконують розрахунок державки різця на міцність і жорсткість. Розміри поперечного перерізу корпусу різця встановлюють залежно від сили різання, матеріалу корпусу, величини вильоту різця та інших факторів. Корпус різця з квадратним поперечним перерізом характеризується підвищеною стійкістю до вигину.

Для розрахунку обираю прохідний різець SCLNR 1212 K0904-RS, так як він знімає найбільший припуск на механічну обробку, та працює в найбільш тяжких умовах. Розміри різця : $h=12\text{mm}$, $b=12\text{mm}$, $l=125\text{mm}$.

Матеріал різця – сталь 40 з межою міцності $\sigma_{и.д} = 200\text{МПа}$, матеріал заготовки – сталь 40X з межою міцності $\sigma = 980\text{МПа}$. Діаметр заготовки – 70мм, припуск на обробку (на сторону – 5мм) , подача $S=0.7\text{мм/об}$, виліт різця $l=55\text{мм}$.

1. Визначаємо силу різання:

$$P_z = 10 \times C_{pz} \times t^{X_{pz}} \times S_0^{Y_{pz}} \times V^{N_{pz}} \times K_{pz} \quad (3.1)$$

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

$X_{pz} = 0,15$ – показник степені при глибині різання;

$Y_{pz} = 0,45$ – показник степені при подачі.

$$P_z = 9,81 \cdot 350 \cdot 50,15 \cdot 0,70,45 \cdot 1 = 3123 \text{ Н}$$

2. Ширина висоти перетину державки $h=12 \text{ mm}$; $b=12 \text{ mm}$.

3. Перевіряємо міцність і жорсткість державки різця :

					КНУКБР.131.26.1-12.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

а) максимальне навантаження, допустима міцність різця :

$$P_{z \text{ доп}} = \frac{bh^2\sigma_{ug}}{6l} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \cdot (12 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 200 \cdot 10^6}{6 \cdot 65 \cdot 10^{-3}} = 3886 \text{ Н}$$

б) максимальне навантаження, допустима жорсткість різця :

$$P_{z \text{ жорс}} = \frac{3fEJ}{l^3} = \frac{3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,145 \cdot 10^{-7}}{(65 \cdot 10^{-3})^3} = 3768 \text{ Н}$$

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

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

J – момент інерції прямокутного перетину державки ;

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{12^3 + 12}{12} = 145 \text{ мм}^4$$

Перевірка різця на міцність і жорсткість :

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

$$3895 > 3123 < 3768$$

Умова виконана. Різець володіє достатньою міцністю і жорсткістю.

3.5 Вибір типорозміру допоміжних інструментів

Враховуючи параметри посадкових поверхонь верстата для встановлення різального інструменту, а також характеристики посадкових поверхонь самих різальних інструментів, визначаємо типи допоміжного оснащення відповідно до міжнародних стандартів для кожного обраного інструменту. Отримані дані наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вибір типу допоміжного інструменту

№ з/п пов.	Верстат	Тип ріжучого інструменту	Параметри посадочного місця ріжучого інструменту	Допоміжний інструмент (шифр)
1	2	4	5	6
1,5, 17	Nextturn NST-56/67	PSSNR/L 2525M12 PTFNR 2525 M16	$h=25, b=25$	Різцетримач радіальний короткий, тип В1: 409.31.25 B1-40x25x44
2,7,9	Nextturn NST-56/67	SCLNR 1212 K0904-RS	$h=12, b=12$	Різцетримач радіальний короткий, тип В1: 390.25.12 B1-35x25x12
3,15	Nextturn NST-56/67	TDJNR 2525 M15	$h=25, b=25$	Різцетримач радіальний короткий, тип В1: 409.31.25 B1-40x25x44

					КНУКБР.131.26.1-12.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.3

1	2	4	5	6
6	Nextturn NST-56/67	PRDCN 2020K12	$h=20, b=20$	Різцетримач радіальний повернутий, тип В4 – 30x20x40
8	Nextturn NST-56/67	TCKNR 2525 M12	$h=25, b=25$	Різцетримач радіальний короткий, тип В1: 409.31.25 В1-40x25x44
10	Nextturn NST-56/67	GHD-300-2D- FC32-Q09A	$d=32$	Тримач для свердла з МНП, тип : E1- 40x32
11	Nextturn NST-56/67	S16Q SCLNR 0904	$d=16$	Тримач для розточних різців E2-40x16
13	Nextturn NST-56/67	S25R TCLNR 0904	$h=23,$ $lf= 200$	Різцетримач радіальний короткий, тип В1-35x23x10
19	Nextturn NST-56/67	PSSNR/L 2525M12	$h=25, b=25$	Різцетримач радіальний повернутий, тип В4 – 30x25x30
20	Nextturn NST-56/67	SSDCN 1212F09	$h=12, b=12$	Різцетримач радіальний короткий, тип В1-30x12x25

					КНУКБР.131.26.1-12.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту

На основі аналізу методів обробки поверхонь та вибраних типів ріжучих інструментів виконуємо розрахунок спеціального ріжучого інструмента – черв'ячної модульної фрези.

Вихідні данні :

$m = 6 \text{ mm}$;

$\alpha_0 = 20^\circ$ – кут зачеплення ;

складена – конструкція фрези ;

Рішення:

1. Крок за нормаллю

$$t_n = \pi m = \pi \times 6 = 18,849 \text{ мм.}$$

2. Товщина зуба фрези, виміряна в нормальному січенні на ділильному колі

$$S_n = \frac{t_n}{2} = \frac{\pi m}{2} = \frac{18,849}{2} = 9,424 \text{ мм.}$$

3. Висота головки зуба для не корегованого зубчастого зачеплення

$$h' = qm = 1,25 \times 6 = 7,5 \text{ мм.}$$

де q – коефіцієнт висоти зуба :

$q = 1,25$ – для некорегованих коліс ;

$q = 0,8 \dots 1,00$ – для корегованих коліс ;

4. Висота ніжки зуба для не корегованого зубчастого зачеплення

$$h'' = qm = 1,25 \times 6 = 7,5 \text{ мм.}$$

5. Повна висота зуба фрези

$$h = h' + h'' = 7,5 + 7,5 = 15 \text{ мм.}$$

6. Радіус округлення головки зуба

$$r_1 = 0,25m = 0,25 \times 6 = 1,5 \text{ мм.}$$

7. Радіус округлення ніжки зуба

$$r_2 = 0,3m = 0,3 \times 6 = 1,8 \text{ мм.}$$

8. Товщина зуба на його вершині

$$s_a = s_n - 2h' \operatorname{tg} \alpha_0 = 9,424 - 2 \times 7,5 \times \operatorname{tg} 20^\circ = 3,964 \text{ мм.}$$

					КНУ.КБР.131.26.1-12.04.ПІАРІ				
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата	Проектування та інженерний аналіз різального інструменту	Літ.	Арк.	Аркцшів	
Розроб.		Кодіцький							
Перевір.		Рязанцев							
Реценз.									
Н. контр.		Нечаєв							
Зав. каф.		Рязанцев							
						Каф. ТМ, гр. ПМ-22			

9. Розміри канавки, призначеної для полегшенні процесу шліфування профілю зуба :

- ширина канавки 5 мм;
- глибина канавки 1 мм;
- радіус округлення канавки $r = 1$ мм.

Загалом ці параметри призначають, виходячи з конструктивних міркувань, виконавши робоче креслення фрези.

10. Зовнішній діаметр D_e фрези

$$D_e = 12,8m + 12,7 = 12,8 \times 6 + 12,7 = 89,5 \text{ мм.}$$

Розраховане значення необхідно округлити :

- для фрез із модулем $m \leq 6$ до найближчого більшого кратного 5;
- для фрез із модулем $m \geq 6,5$ до найближчого більшого кратного 10.

Отже, враховуючи , що $m = 6$ приймаємо $D_e = 90$ мм.

11. Орієнтовна (у першому наближенні) величина кута нахилу стружкової канавки

$$\sin \omega \approx \frac{m}{D_e} = \frac{6}{90} = 0,0666.$$

Звідки $\omega = 0,0666$ рад.

12. Профільний кут для правої та лівої сторін зуба на ділильному циліндрі

$$\begin{aligned} \alpha_{np} &= -8646454\omega^2 + 0,260337\omega + 19,998634 \\ &= -8,646454 \times 0,0666^2 + 0,260337 \times 0,0666 + 19,998634 \\ &= 19^\circ 58' 39''. \end{aligned}$$

13. Передній кут $\gamma = 0^\circ$.

14. Задній кут на вершині зуба приймаємо $\alpha_B = 10^\circ$

Перевіряємо величину заднього кута на бокових сторонах профілю зуба

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{бок}} = \operatorname{tg} \alpha_B \sin \alpha_0 = \operatorname{tg} 10^\circ \sin 20^\circ = 3,4512.$$

Звідки маємо $\alpha_{\text{бок}} = 3^\circ 27'$. Так як $\alpha_{\text{бок}} > 3^\circ$ залишаємо прийняту величину заднього кута на вершині зуба $\alpha_B = 10^\circ$.

15. Кількість зубів z фрези приймаємо залежно від модулю m .

Для цільних чорнових фрез

m , мм	1...2	2,25...3,75	4...9	10...20
z	12	10	8...9	8

Для складених та чистових фрез

m , мм	1...2	2,25...3,75	4...9	10...20
z	12...14	12	10...12	10

Так, як за умовами завдання проектуємо фрезу складеної конструкції приймаємо $z = 12$.

					КНУ.КБР.131.26.1-12.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

16. Величина затилювання

$$k = \frac{\pi D e}{z} \operatorname{tg} \alpha_B = \frac{\pi 90}{12} \operatorname{tg} 10^\circ = 4,154 \text{ мм.}$$

Приймаємо $K = 4 \text{ мм.}$

17. Так, як фреза має складену конструкцію, є можливість зменшити діаметр корпусу, тому немає потреби застосовувати друге затилювання.

18. Глибина канавки для видалення стружки

$$H = h + K + r = 15 + 4 + 1 = 20 \text{ мм.}$$

19. Кут θ стружкової канавки приймаємо $\theta = 20^\circ$. Так, як фреза має складену конструкцію, необхідно визначити розміри вставного різального елемента. Це, краще за все, здійснити виконавши графічні побудови.

20. Діаметр корпусу $D_{\text{корп}}$ доцільно визначити графічно, викресливши його у масштабі 1:1.

21. Довжина робочої частини фрези

$$L \geq 13m = 13 \times 6 = 78 \text{ мм.}$$

Приймаємо $L = 80 \text{ мм.}$

22. Розміри бокових кілець та бортиків визначаємо із графічних побудов. Діаметр посадкового отвору d можливо вибрати залежно від діаметру $D_{\text{корп}}$ корпусу:

$D_{\text{корп}}, \text{ мм}$	50...65	70...90	100...125	140...195	215...230
$d, \text{ мм}$	22	27	32	40	50

23. Середній розрахунковий діаметр фрези

$$D_t = D e - 2h' - 0,25k = 90 - 2 \times 7,5 - 0,25 \times 4 = 74 \text{ мм.}$$

24. Остаточний кут нахилу стружкових канавок

$$\sin \omega = \frac{m}{D_t} = \frac{6}{74} = 0,081$$

Звідки маємо $\omega = 4^\circ 38'$.

25. Крок гвинтової стружкової канавки

$$s = \pi \frac{D_t}{\operatorname{tg} \omega} = \pi \frac{74}{\operatorname{tg} 4^\circ 38'} = 2868,55 \text{ мм.}$$

26. Крок витка зубів в осьовому напрямку

$$t_{\text{ос}} = \frac{t_n}{\cos \omega} = \frac{18,849}{\cos 4^\circ 38'} = 18,91 \text{ мм.}$$

27. Кут нахилу пазу для різальних пластин $\omega = 4^\circ 25'$.

					КНУ.КБР.131.26.1-12.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту

Виконано інженерний аналіз розробленої черв'ячної фрези із використанням модуля SOLIDWORKS Simulation. Дослідження здійснено в рамках статичного структурного аналізу. Об'єктом дослідження є черв'ячна фреза, виготовлена зі сталі марки 1.2311 (40CrMnMo7), яка за своїми експлуатаційними характеристиками є аналогом інструментальної сталі Р6М5.

На рисунку 4.1 представлено об'ємну модель зі згенерованою сіткою кінцевих елементів для статичного розрахунку черв'ячної фрези.

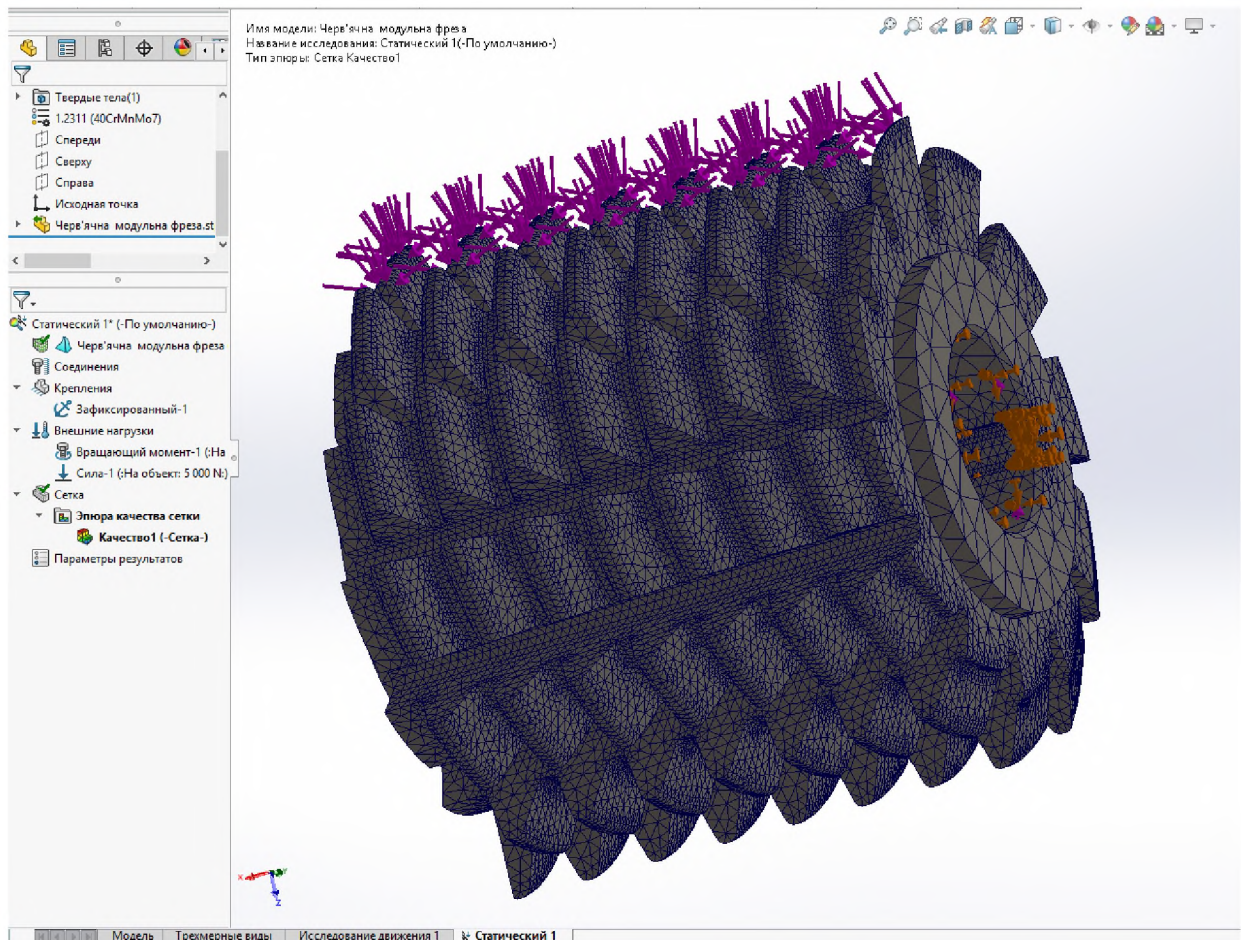


Рисунок 4.1 – Сітка кінцевих елементів для аналізу черв'ячної фрези

4.2.1 Аналіз напружень (Von Mises)

Максимальне еквівалентне напруження становить $1,2 \cdot 10^9$ Па (рис. 4.2), що перевищує межу текучості матеріалу ($8,21 \cdot 10^8$ Па). Це свідчить про те, що в окремих зонах конструкції можливе пластичне деформування. Ймовірно, концентрації напружень виникають у зонах контакту зубців або біля місць прикладання навантаження. Мінімальні напруження практично відсутні, що підтверджує нерівномірний розподіл навантаження.

Конструкція працює в умовах перевищення допустимих напружень, що вказує на необхідність оптимізації (зміна геометрії, матеріалу або умов навантаження).

					КНУ.КБР.131.26.1-12.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

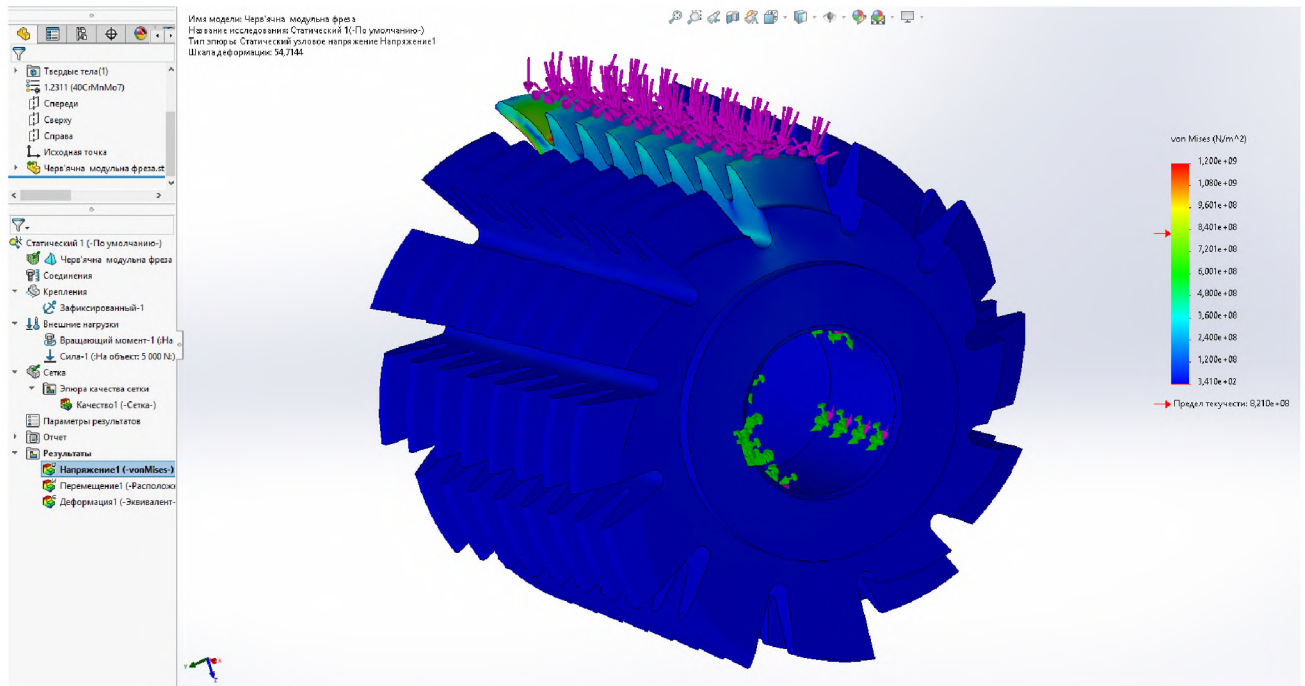


Рисунок 4.2 – Епюра напружень (Von Mises) черв'ячної фрези

4.2.2 Аналіз переміщень

Максимальне переміщення становить 0,3202 мм, що є відносно невеликим значенням для даного типу інструменту (рис. 4.3). Це свідчить про достатню жорсткість конструкції. Мінімальні переміщення дорівнюють нулю в зоні закріплення, що підтверджує коректність граничних умов.

Конструкція має достатню жорсткість і не зазнає критичних деформацій, які могли б вплинути на точність обробки.

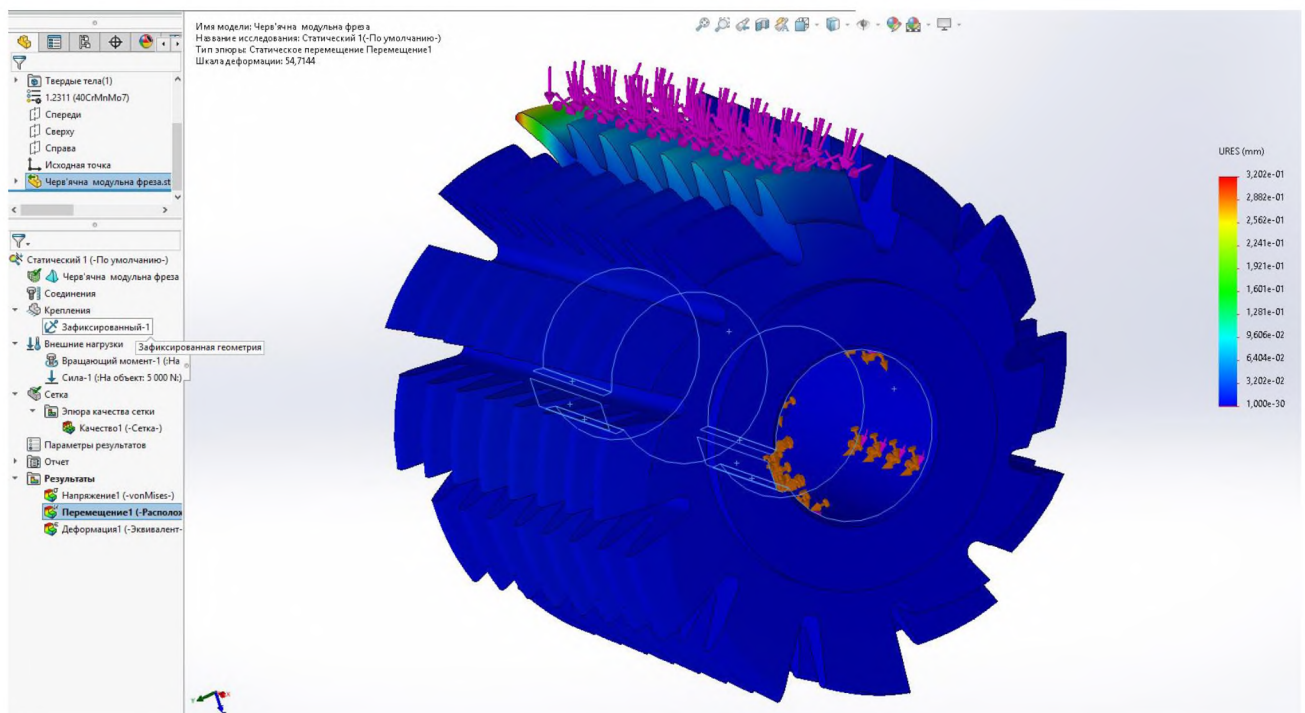


Рисунок 4.3 – Епюра переміщень черв'ячної фрези

					КНУ.КБР.131.26.1-12.04.ПІАРІ		Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата			

4.2.3 Аналіз деформацій

Максимальна еквівалентна деформація становить $3,764 \cdot 10^{-3}$, що відповідає зонам підвищених напружень (рис. 4.4). Це підтверджує локальний характер перевантаження. Мінімальні деформації близькі до нуля.

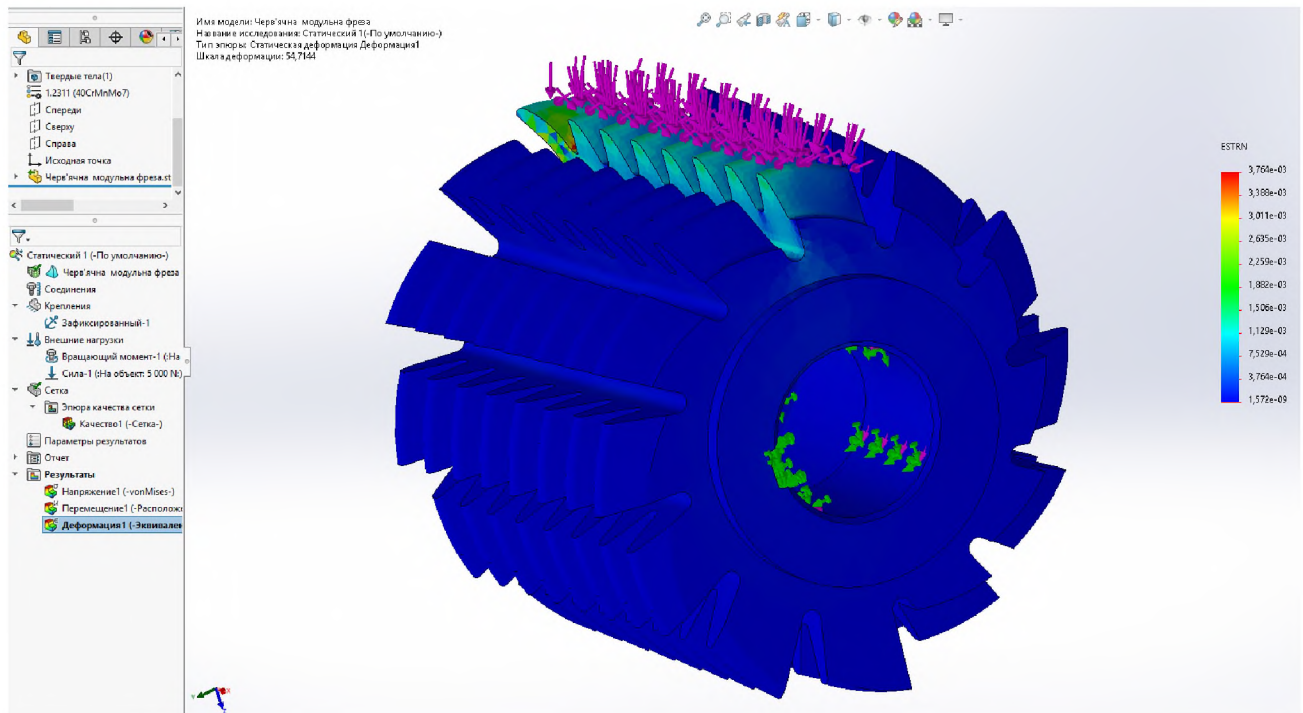


Рисунок 4.4 – Епюра деформацій черв'ячної фрези

Деформації мають локальний характер і корелюють із зонами максимальних напружень. Загальна деформаційна поведінка конструкції є прогнозованою.

4.2.4 Загальний висновок

Проведений інженерний аналіз показав, що черв'ячна модульна фреза в цілому має достатню жорсткість та обмежені переміщення, однак рівень напружень перевищує допустимі значення для використаного матеріалу. Це може призвести до передчасного зносу або руйнування інструменту. Рекомендується провести оптимізацію конструкції, зокрема: зменшити концентрації напружень, змінити геометрію зубців або застосувати матеріал з вищими механічними характеристиками.

					КНУ.КБР.131.26.1-12.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора

Для виконання токарної обробки деталі «Вал-шестерня» було розроблено керуючу програму та змодельовано повний технологічний процес у програмному середовищі Autodesk FeatureCAM. Оброблення деталі здійснюється на токарному верстаті з ЧПК моделі Nextturn NST-56/67, основні технічні характеристики якого наведено в розділі 2. На рисунку 5.1 показано інструментальну схему верстату, на рис. 5.2 загальний вид револьверної головки верстата.

Керування роботою верстата забезпечується системою ЧПК Fanuc 31i-Model A/B, основні параметри якої подано в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики системи ЧПК Fanuc 31i-Model A/B

Параметр	Характеристика системи ЧПК
1	2
Призначення	Високопродуктивна система ЧПК для токарних, токарно-фрезерних, багатошпиндельних та багатоканальних верстатів
Тип керування	Цифрове багатоканальне керування осями та шпинделями
Точність позиціонування	Нанометрична роздільна здатність та високоточне керування сервоприводами
Інтерполяція	Лінійна, кругова, гвинтова, циліндрична, полярна, різьбонарізна
Підтримка складних траєкторій	Nano Interpolation, Nano Smoothing, AI Contour Control
Попередній перегляд траєкторії	AI Advanced Preview Control з випередженням до 1000 блоків
Функції компенсації	Компенсація люфтів, теплових деформацій, похибок кроку, прямолінійності, об'ємної похибки
Функції безпеки	Dual Check Safety, 3D Interference Check, Stored Stroke Check
Функції відновлення	Program Restart, Quick Program Restart, Tool Retract & Recover
Підтримка багатоканальної обробки	Так, можливе одночасне керування декількома супортами, шпинделями та револьверними головками
Підтримка макросів	Macro Executor, Custom Macro B

					КНУ.КБР.131.26.1-12.05.МПОМО					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Моделювання та програмування операцій механічної обробки			Літ.	Арк.	Архів
Розроб.		Кодіцький								
Перевір.		Рязанцев								
Реценз.										
Н. контр.		Нечаєв								
Зав. каф.		Рязанцев								
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22					

Продовження таблиці 5.1

1	2
Підтримка ручного програмування	Так, через MANUAL GUIDE і та макропрограмування
Інтерфейси підключення	Ethernet, USB, CF-карта, I/O Link, FOCAS
Максимальна кількість входів/виходів PMC	До 4096 I/O
Підтримка HMI	LCD-панель, iHMI, сенсорний екран, зовнішній ПК
Особливість для токарних верстатів	Підтримка синхронізації шпинделів, осей C/Y/B, полігонального точіння та багатозаходної різьби
Підтримка сервоналаштування	Так, через програму SERVO GUIDE

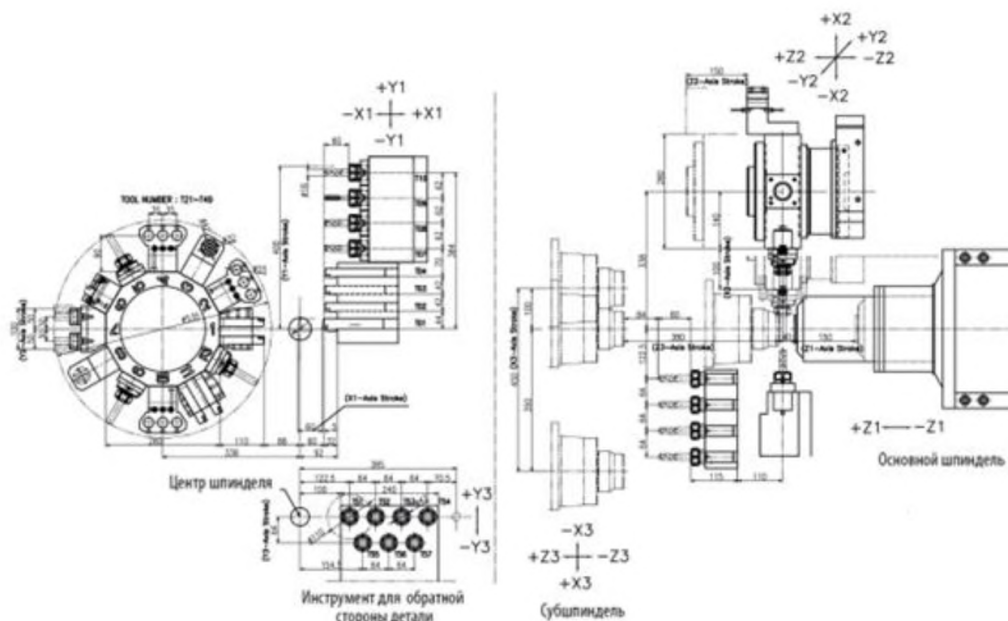


Рисунок 5.1 – Інструментальна схема верстату Nextturn NST-56/67

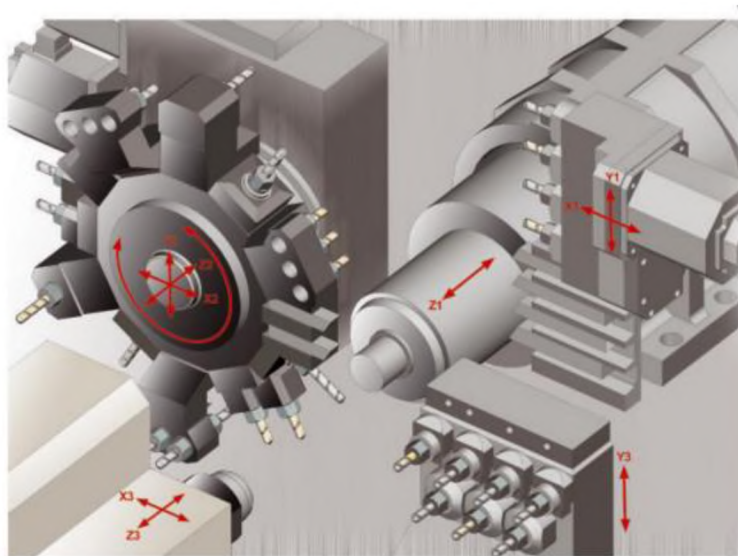


Рисунок 5.2 – Револьверна 12 позиційна головка Nextturn NST-56/67

					КНУ.КБР.131.26.1-12.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Основними перевагами системи FANUC 31i-Model A/B є висока швидкодія, точність, підтримка багатоканальної обробки, складних інтерполяцій та розвинених функцій компенсації похибок, що робить її однією з найпоширеніших систем для сучасних токарних центрів.

5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм

У ході розроблення керуючої програми для виготовлення деталі «Вал-шестерня» було поетапно змодельовано повний технологічний процес у програмному середовищі FeatureCAM. З урахуванням технічних можливостей верстата Nextturn NST-56/67 та характеристик використаного різального інструменту (див. розділ 3) визначено раціональну послідовність виконання технологічних операцій. Крім того, здійснено перевірку прийнятих технологічних рішень для підтвердження їх правильності та ефективності.

На рисунках 5.3-5.8 представлено основні етапи симуляції процесу обробки деталі «Вал-шестерня» і результати моделювання, які підтверджують відповідність розробленого технологічного процесу вимогам щодо точності виготовлення та продуктивності виробництва.

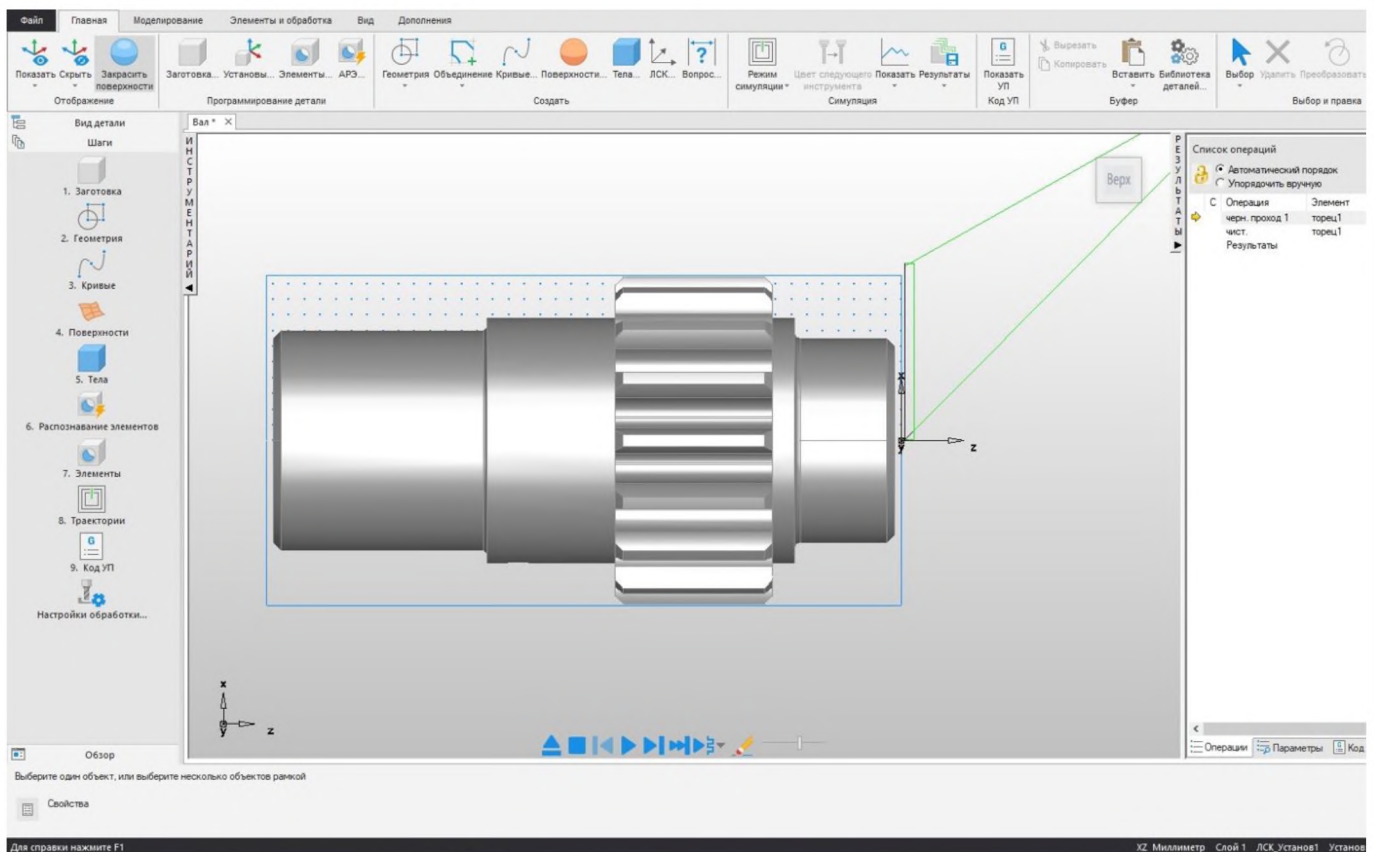


Рисунок 5.3 – Вал-шестерня у вікні програмного продукту FeatureCAM з указанням етапів обробки

					КНУ.КБР.131.26.1-12.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ доцм.	Підпис	Дата		

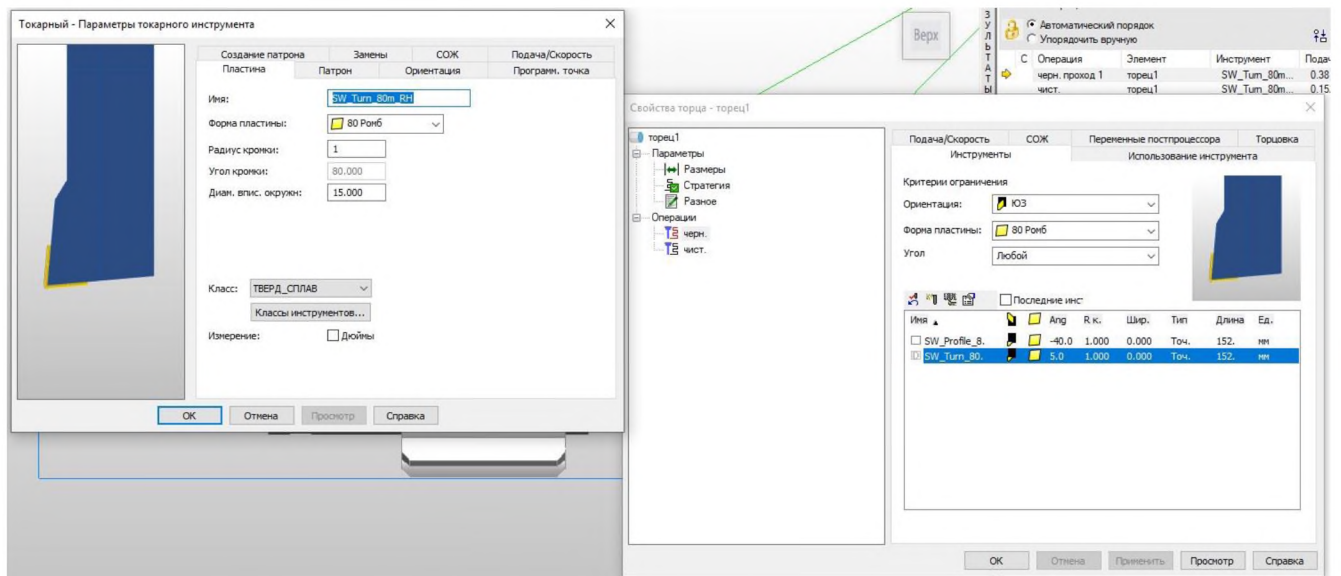


Рисунок 5.4 – Підбір інструменту – різець прохідний

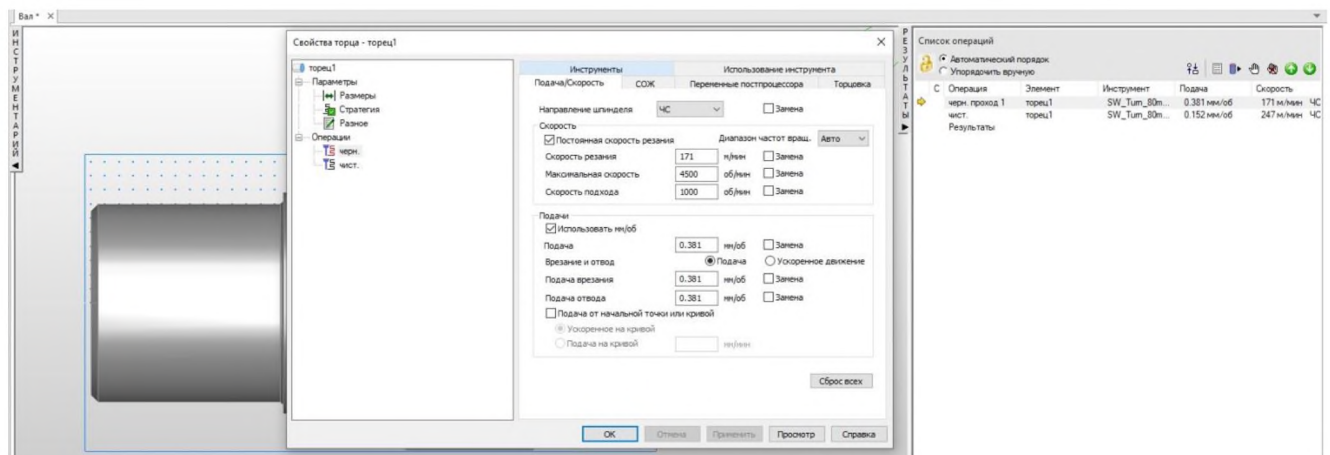


Рисунок 5.5 – Вибір режимів різання у FeatureCAM

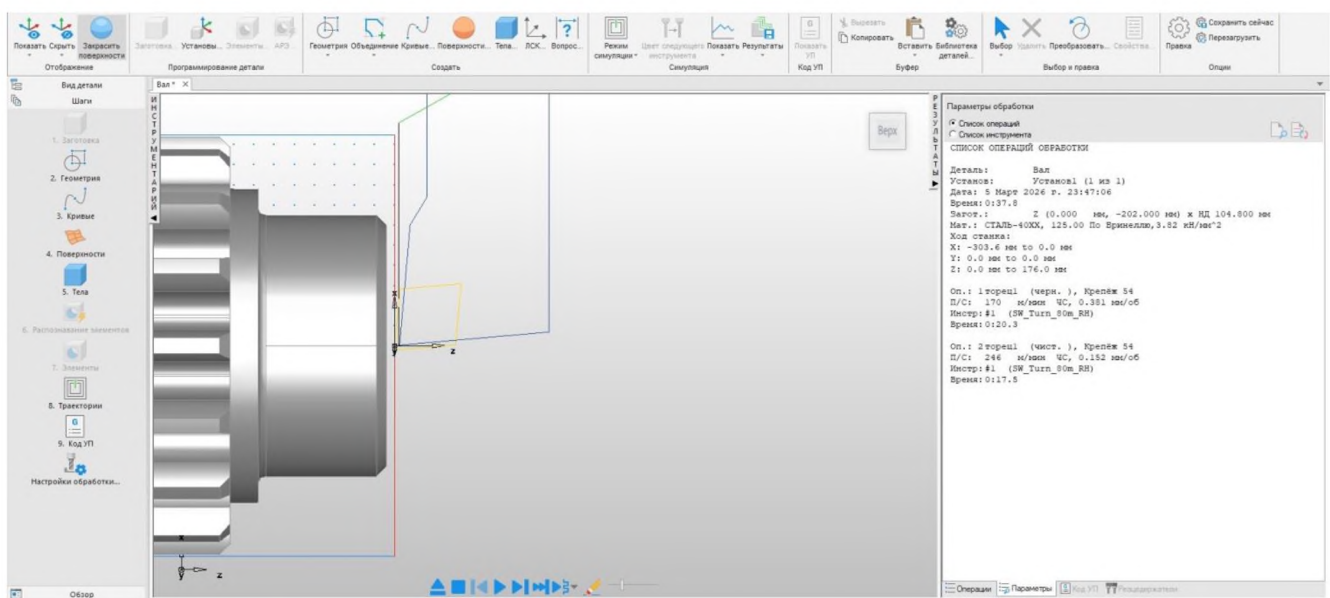


Рисунок 5.6 – Траектория ruchu підрізного токарного різця у FeatureCAM

					КНУ.КБР.131.26.1-12.05.МПОМО		Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата			

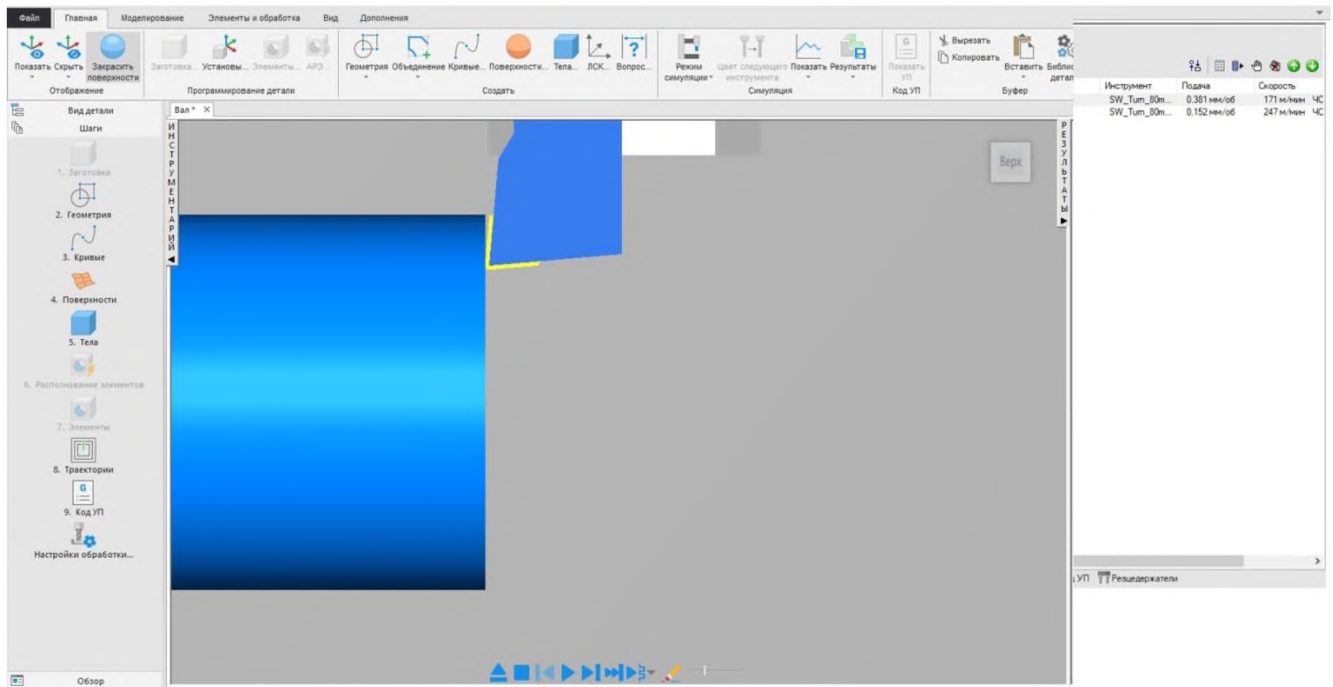


Рисунок 5.7 – Візуалізація процесу обробки – підрізка торця

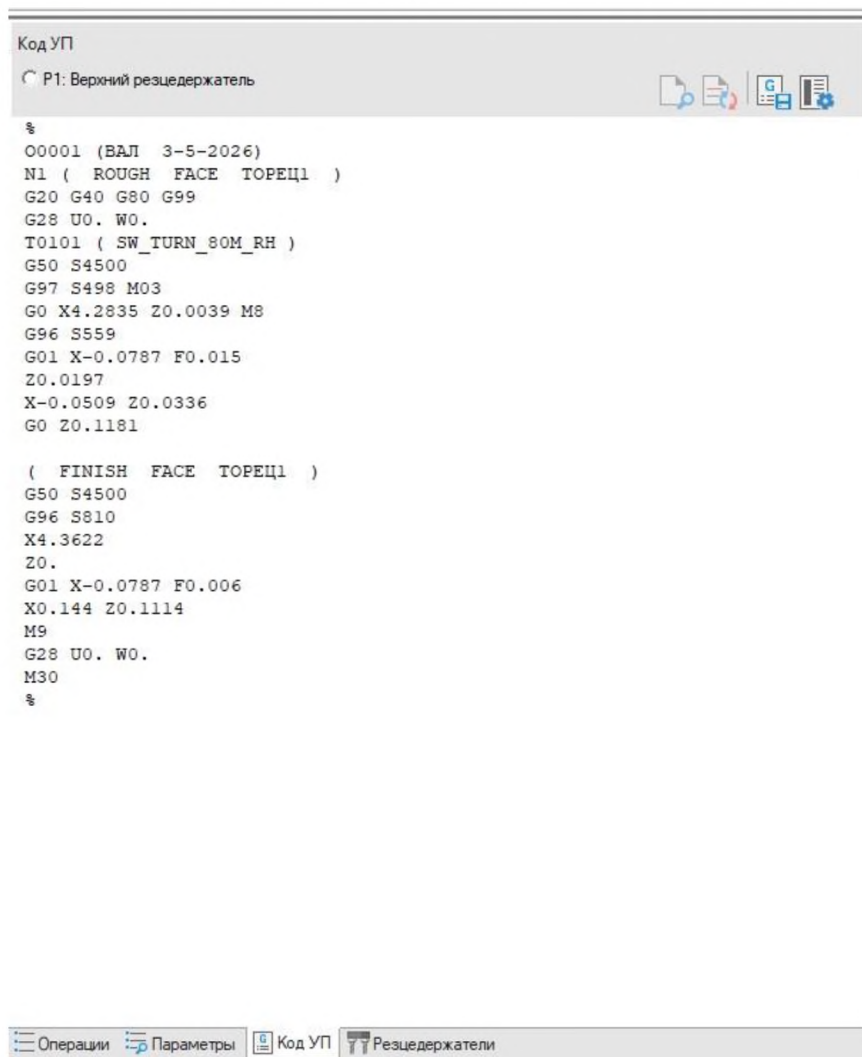


Рисунок 5.8 – Фрагмент керуючої програми

					КНУ.КБР.131.26.1-12.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників

Виконано техніко-економічний аналіз та розраховано собівартість виготовлення деталі «Вал-шестерня» для двох варіантів технологічного процесу механічної обробки. У ході дослідження здійснено оцінювання доцільності модернізації виробництва шляхом заміни морально та фізично застарілого обладнання – токарного верстата з ЧПК моделі 16K30Ф3 і токарно-гвинторізного верстата 16K20 – на сучасний високоточний і високопродуктивний токарний автомат з ЧПК Nextturn NST-56/67.

Результати виконаних розрахунків, а також визначений термін окупності інвестиційного проекту наведено у таблицях 6.1-6.4. Зокрема, у табл. 6.1 подано вихідні дані, необхідні для проведення економічного аналізу; табл.6.2 містить допоміжні розрахункові показники, використані під час обчислень; у табл. 6.3 наведено дані щодо собівартості річної програми випуску деталей і обсягу капітальних інвестицій; у табл. 6.4 представлено загальні виробничі витрати, очікуваний річний економічний ефект та термін окупності запропонованої модернізації виробництва.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані розрахунків

Вихідні дані			
Дані	Базовий варіант		Новий варіант
	16K20	16K30Ф3	Nextturn NST-56
Деталь			
Річний обсяг випуску деталей N, шт.	1500		1500
Кількість запусків партій деталей в рік, шт.	20		20
Тривалість випуску деталей Z, рік	3		3
Штучний час обробки деталі $t_{шт}$, хв.	24	17	29
Час наладки верстата, хв.	16	18	22
Розряд: контролера верстатника наладчика наладчика інструменту	5		5
	4	3	2
	3	3	5
	4	4	4
Кількість кадрів програми, шт.	105		240
Вартість заготовки $S_{заг}$, грн.	459		459
Вартість комплекту спец. пристосувань $K_{пр}$, грн	50000	50000	65000

					КНУ.КБР.131.26.1-12.06.0ЕПВ		
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	Організаційно- економічна підготовка виробництва		
Розроб.	Кодицький						
Перевір.	Рязанцев						
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв						
Зав. каф.	Рязанцев						
					Літ.	Арк.	Архів
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22		

Продовження таблиці 6.1

Середній час налагодження за прибором одного інструменту поза верстатом, хв.	1,5	1,5	1
Середній період стійкості інструменту, хв.	45	60	180
Середня кількість граней пластинки, шт.	1	1	3
Коефіцієнт, що враховує питому вагу основного часу в штучному k_t	0,083	0,083	0,083
Вартість одного кадру ПК, грн.		8,9	8,9
Вартість розробки ПК $K_{пк}$, грн.		934,5	2136
Середньочасова зарплатня робітника, грн:			
верстатника $H_{ст}$	130	130	130
наладчика $H_{нал}$	135	135	135
наладчика інструмента $H_{ін}$	120	120	120
контролера H_k	115		115
Верстати			
Клас точності верстата	Н	Н	А
Маса верстата, т	6,875	11,4	6,5
Габарити верстата (довжина x ширина), м.	5,545 x 2,01	5,825 x 2	3,5x 2,29
Габарити пристрою ЧПК, м		0,5 x 0,5	0,5 x 0,5
Тип пристрою ЧПК			Fanuc 31i-Model A/B
Строк служби верстата до капітального ремонту $T_{рц}$, років	7	7	10
Встановлена потужність всіх електродвигунів головного руху, кВт	17	14	22,4
Категорія складності ремонту верстата ЕРС:			
механічної частини R_m	18,6	27,7	26,86
електротехнічної частини R_e	13,4	14	18,8
Кількість верстатів, що обслуговує один робочий d, шт	1	1	2
Оптова ціна верстата Ц, грн.	295000	515000	2435000
Коефіцієнт завантаження верстата η_z	0,65	0,4	0,8
Площа верстата за габаритами A_v , м. кв.	9,0	11,7	8,1
Площа пристрою ЧПК A_y , м. кв.		0,25	0,25
Витрати на одну одиницю ЕРС верстата, грн.			
механічної частини H_m	401	401	272
електротехнічної частини H_e	86	86	60
Норматив річних витрат на поточне обслуговування та ремонт ПЧПК Q, грн.	0	0	1950
Коеф., що враховує додаткову площу верстата, γ	4	3,5	3,5
Коеф., що враховує клас точності верстата, μ	1	1,5	1,8

					КНУ.КБР.131.26.1-12.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 6.1

Ефективний річний фонд часу роботи верстата $\Phi_{об}$, год	4055	3975	3935
Виробничі та інші площі			
Вартість 1 м. кв. площі механічної $\mathcal{C}_{пл.зд.}$, грн	500		500
Вартість 1 м. кв. площі, що займають службово-побутові приміщення $\mathcal{C}_{сл. поб.}$, грн	1000		1000
Площа службово-побутових приміщень, що приходяться на одного робочого A_6 , м. кв.	7		7
Витрати на утримання та амортизаційні витрати на 1 м. кв. цеху $N_{пл}$, грн.	180	180	200

Таблиця 6.2 – Розрахунок допоміжних показників

Розрахунок допоміжних показників			
Дані	Базовий варіант		Новий варіант
	16K20	16K30Ф3	Nextturn NST-56
Трудомісткість обробки $T_{шт.}$, год	600	400	1200
Час наладки верстата впродовж року T_n , год	5,333333333	6	7,333333333
Час наладки інструмента поза верстатом впродовж року $T_{н.ін.}$, год	0	0,00	20,00
Час контролю деталей впродовж року T_k , год	49,8	33,2	99,6
Кількість верстатників $P_{ст.}$, чол. (розрах.) (дійсна)	0,32	0,22	0,32
	1	1	1
Кількість наладчиків верстатів P_n , чол. (розрахункова) (дійсна)	0,0029	0,0032	0,0039
	1	1	1
Кількість наладчиків інструмента поза верстатом $P_{н.ін.}$, чол. (розрахункова) (дійсна)	0	0,0000	0,01075
	0	0	1
Кількість контролерів P_k , чол. (розрах.) (дійсна)	0,03	0,02	0,05
	1		1
Додаткова кількість робочих по обслуговуванню верстатів з ЧПК $P_{дод.}$, чол. (розрахункова) (дійсна)	0,00	0,13	0,19
	0	1	1
Загальна кількість працівників на річну програму випуску деталей, чол.	6		5
Частка завантаження верстата обробкою деталі в обсязі річного випуску β	0,23	0,18	0,38

					КНУ.КБР.131.26.1-12.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.3 – Результати розрахунків

Собівартість механічної обробки річного випуску деталей											
$C = I_3 + I_n + I_{in} + I_{пк} + I_{пр} + I_{усп} + I_a + I_{пл} + I_{сл} + I_r + I_y + I_k$											
де I_3 – зарплатня верстатника; I_n – зарплатня за наладку верстата; I_{in} – зарплатня налагоджувальника інструмента поза верстатом; $I_{пк}$ – витрати на підготовку та поновлення керуючої програми; $I_{пр}$ – витрати на ремонт та утримання спеціальних пристосувань; $I_{усп}$ – витрати на прокат універсально-збірних I_a – амортизаційні відрахування на повне відновлення обладнання; $I_{пл}$ – витрати на утримання приміщення, яке займає верстат; $I_{сл}$ – витрати на амортизацію і утримання службово-побутових приміщень; I_r – витрати на ремонт та технічне обслуговування обладнання; I_y – витрати на технічне обслуговування і ремонт ЧПК; I_k – зарплатня контролера											
										C_1 на деталь = 214,88 C_2 на деталь = 158,68	
I_3	I_n	I_{in}	$I_{пк}$	$I_{пр}$	$I_{усп}$	I_a	$I_{пл}$	$I_{сл}$	I_r	I_y	I_k
$C_1 = 214559 + 2405,89 + 0,00 + 311,50 + 37333,3 + 0 + 8028,65 + 2831,06 + 42000 + 5301,8 + 0 + 9545,00 = 322316,50$											
$C_2 = 129645 + 1556,76 + 234,00 + 712,00 + 24266,7 + 0 + 25552,89 + 3024,00 + 35000 + 5822,3 + 747,87 + 11454,00 = 238015,84$											
Капітальні вкладення споживача											
$K = K_6 + K_{зд} + K_{сл} + K_{нез} + K_{пр} + K_{п.у.}$											
де K_6 – балансова вартість верстата, грн; $K_{зд}$ – вартість приміщення, яке займає верстат, грн.; $K_{сл}$ – вартість службово-побутових приміщень, грн.; $K_{нез}$ – обігові кошти в незакінченому виробництві, грн.; $K_{пр}$ – вартість комплексу спеціальних пристосувань, які використовуються на верстатах при обробці деталей, грн.; $K_{п.у.}$ – витрати на створення керуючої програми (КП), грн.											
K_6	$K_{зд}$	$K_{сл}$	$K_{нез}$	$K_{пр}$	$K_{п.у.}$						
$K_1 = 176496 + 7864 + 42000 + 52211 + 100000 + 934,5 = 379505$											
$K_2 = 482130 + 2615 + 28000 + 43605 + 65000 + 2136 = 623485,93$											

Таблиця 6.4 – Показники приведених витрат, річного економічного ефекту та терміну окупності

Приведені витрати			
$Z_1 = C_1 + E_n \cdot K_1$			
379242	322317	0,15	379505
$Z_2 = C_2 + E_n \cdot K_2$			
331539	238016	0,15	623486

Річний економічний ефект		
$E = Z_1 - Z_2$		
47704	379242	331539

Строк окупності				
$T_{ок} = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2)$				
2,89	623486	379505	322317	238015,8

					КНУ.КБР.131.26.1-12.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За результатами проведених розрахунків визначено, що заміна чотирьох застарілих верстатів на сучасний верстат із числовим програмним керуванням дозволяє істотно зменшити тривалість обробки деталей. Запропонований варіант модернізації є економічно доцільним, оскільки термін окупності інвестицій становить 2,89 року, а прогнозований річний економічний ефект досягає 47704 грн.

6.2 Екологія виробництва та охорона праці при обробці з утворенням зливної стружки на токарних операціях

Процеси механічної обробки металів різанням займають ключове місце в машинобудуванні, забезпечуючи формоутворення деталей із необхідною точністю та якістю поверхні. Разом із тим такі процеси є джерелом значного техногенного навантаження на довкілля та створюють комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Особливої уваги потребують токарні операції, при яких утворюється зливна (безперервна) стружка, характерна для обробки пластичних матеріалів (сталі, алюмінієві сплави) за високих швидкостей різання та малих подач.

6.2.1 Характеристика процесу утворення зливної стружки та її вплив

Зливна стружка утворюється внаслідок пластичної деформації шару металу, що зрізається різальним інструментом. Вона має вигляд довгих спіральних або стрічкоподібних елементів, які можуть досягати значної довжини. Така форма стружки створює низку проблем:

- ускладнення автоматизації процесу;
- небезпека намотування на різальний інструмент або заготовку;
- підвищений ризик травматизму;
- складність транспортування та утилізації.

З екологічної точки зору зливна стружка є цінною вторинною сировиною, однак її нераціональне поводження може призводити до забруднення виробничих територій і довкілля. Відповідно до Закону України «Про відходи» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-вр>), металеві відходи підлягають обов'язковому обліку, сортуванню та передачі на утилізацію або повторне використання.

6.2.2 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

При токарній обробці із утворенням зливної стружки формується комплекс факторів, які впливають на працівника:

1. Механічні фактори. Зливна стружка має гострі краї, здатна спричинити порізи, проколи, а також захоплювати одяг чи частини тіла. Особливо небезпечним є ефект намотування стружки на патрон або різець.

2. Термічні фактори. Температура в зоні різання може досягати 600-800 °С. Стружка виходить розігрітою, що створює ризик опіків і займання мастильних матеріалів.

					КНУ.КБР.131.26.1-12.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Хімічні фактори. Мастильно-охолоджувальні рідини (МОР) при нагріванні утворюють аерозолі та пари, що можуть містити токсичні речовини. Тривалий вплив призводить до захворювань органів дихання та шкіри.

4. Фізичні фактори:

- шум (до 90–100 дБ і більше);
- вібрація обладнання;
- електромагнітні поля (для сучасних верстатів із ЧПК).

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99, рівні шуму повинні контролюватися та не перевищувати допустимі значення.

6.2.3 Вимоги охорони праці при токарних операціях

Згідно з НПАОП 0.00-1.71-13 (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0428-13>), організація безпечної роботи передбачає:

- застосування захисних кожухів і екранів;
- використання пристроїв для дроблення стружки;
- заборону видалення стружки руками;
- використання спеціальних інструментів (гачків, щіток);
- регулярне очищення робочої зони.

Особлива увага приділяється інструктажу працівників і контролю за дотриманням правил безпеки. Закон України «Про охорону праці» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>) визначає обов'язки роботодавця щодо створення безпечних умов праці, забезпечення засобами захисту та проведення навчання.

6.2.4 Засоби індивідуального та колективного захисту

До основних засобів захисту належать:

- захисні окуляри або щитки;
- рукавиці зі стійких до порізів матеріалів;
- спецодяг без вільних елементів;
- захисне взуття;
- засоби захисту органів слуху.

Колективні засоби включають:

- вентиляційні системи;
- локальні відсмоктувачі аерозолів;
- автоматичні транспортери для стружки;
- шумоізоляційні кожухи.

6.2.5 Екологічні аспекти: повітря, вода, відходи

Токарне виробництво впливає на довкілля за трьома основними напрямками:

1. Атмосферне повітря. Викиди включають аерозолі МОР, металевий пил і продукти згоряння мастил. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>) встановлює необхідність очищення викидів і контролю їх складу.

2. Водні ресурси. Забруднення можливе через відпрацьовані МОР. Відповідно до Водного кодексу України

					КНУ.КБР.131.26.1-12.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр>), скид неочищених стоків заборонено. Використовуються системи: фільтрації; відстоювання; біологічного очищення.

3. Відходи виробництва. Зливна стружка підлягає:

- сортуванню за матеріалами;
- пресуванню (брикетуванню);
- передачі на металургійні підприємства.

Технологічні методи зменшення утворення зливної стружки. Для підвищення безпеки та екологічності застосовуються такі рішення:

- використання різців із стружколомами;
- оптимізація режимів різання (збільшення подачі);
- застосування сучасних твердосплавних і керамічних інструментів;
- використання сухого або мінімального змащування (MQL-технології).

Це дозволяє перетворити зливну стружку на дроблену, що значно безпечніше.

Організаційні заходи. До організаційних заходів належать:

- регулярні інструктажі;
- атестація робочих місць;
- моніторинг умов праці;
- впровадження систем управління екологією (ISO 14001);
- аудит охорони праці.

Пожежна безпека. Зливна стружка, просочена мастилами, є пожежонебезпечною. Необхідно:

- регулярно очищати робочі місця;
- використовувати негорючі матеріали;
- забезпечити наявність вогнегасників;
- контролювати температуру в зоні різання.

Висновки

Таким чином, токарні операції із утворенням зливної стружки характеризуються підвищеним рівнем небезпеки та екологічного впливу. Основними напрямками зниження ризиків є:

- впровадження сучасних технологій дроблення стружки;
- автоматизація процесів видалення відходів;
- ефективна вентиляція та очищення викидів;
- суворе дотримання нормативно-правових вимог;
- підвищення рівня культури виробництва.

Комплексний підхід до вирішення цих питань забезпечує не лише безпеку працівників, але й зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

					КНУ.КБР.131.26.1-12.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської випускної роботи було вирішено комплекс інженерно-технологічних завдань, пов'язаних із забезпеченням ефективного виготовлення відповідальної машинобудівної деталі в умовах сучасного виробництва.

У першому розділі проведено аналіз вихідних даних та встановлено службове призначення деталі, яка є складовою частиною вузла підвищення швидкості. Виконано дослідження конструктивних особливостей деталі, проаналізовано вимоги до точності та якості поверхонь. Проведено розрахунок параметрів точності з'єднання шийки вал-шестерні з підшипником.

У другому розділі визначено службове призначення деталі, виконано аналіз технологічності конструкції та якості поверхонь. На основі проведеного аналізу обґрунтовано вибір типового технологічного процесу виготовлення деталі та підібрано сучасне високопродуктивне обладнання з числовим програмним керуванням, що забезпечує підвищення точності обробки, зменшення трудомісткості та скорочення виробничого циклу.

У третьому розділі здійснено вибір металорізальних та допоміжних інструментів для виконання механічної обробки поверхонь деталі. Обґрунтовано застосування сучасного інструментального оснащення, яке забезпечує стабільність процесу різання, підвищення продуктивності та досягнення необхідних параметрів точності й шорсткості поверхонь.

У четвертому розділі виконано розрахунок та проектування спеціального різального інструменту – черв'ячної модульної фрези. Розроблено її конструкцію та проведено інженерний аналіз у середовищі SOLIDWORKS Simulation, що дозволило оцінити напружено-деформований стан інструменту, величини переміщень і запас міцності. Отримані результати підтвердили працездатність та ефективність запропонованої конструкції.

У п'ятому розділі виконано моделювання та програмування операцій механічної обробки деталі «Вал-шестерня» із використанням Autodesk FeatureCAM. Розроблено керуючі програми для токарної обробки на верстаті моделі Nextturn NST-56/67, що забезпечує автоматизацію процесу виготовлення та підвищення точності обробки.

У шостому розділі виконано розрахунок основних техніко-економічних показників, який підтвердив економічну доцільність запропонованих рішень. Встановлено, що строк окупності становить 2,89 року, а очікуваний економічний ефект – 47704 грн. Також розглянуто питання екології виробництва та охорони праці при виконанні токарних операцій із утворенням зливної стружки, запропоновано заходи щодо забезпечення безпечних умов праці та зменшення негативного впливу виробничих факторів на персонал і навколишнє середовище.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-12.B</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Висновки</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Кабіцький</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Рязанцев</i>						
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Нечаєв</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Рязанцев</i>						
						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>Архів</i>	
						<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>	

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нефедов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: Учебное пособие – М.: Машиностроение, 1990. – 448с.
2. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної випускної роботи бакалавра для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми Прикладна механіка усіх форм навчання. Укладачі: Кіяновський М.В., Нечаєв В.П., Пікільняк А.В., Цивінда Н.І., Бондар О.В., Рязанцев А.О., Кравцова Д.Ю. 2022. Кривий Ріг, КНУ.
3. Технологія машинобудування Горбатюк Е.О. Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Навчальний посібник. Львів., Новий світ-2008,-360 с.
4. ДСТУ 3.1001:2014 Єдина система технологічної документації. Загальні положення.
5. ДСТУ 2391-94 Система технологічної документації. Терміни та визначення
6. ДСТУ 3.1127:2014. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання текстових технологічних документів.
7. ДСТУ 3.1128:2014. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання графічних технологічних документів.
8. Каталог інструментів фірми SUMITOMO: «Токарна обробка», 2015р.
9. Каталог допоміжного інструменту фірми EROGLU.
10. ДСТУ ISO 2768-1-2001. Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків (ISO 2768–1:1989, IDT). [Чинний від 2003-01-01] – К. :Держстандарт України, 2002. – 10 с.
11. ДСТУ ISO 2768-2-2001. Основні допуски. Частина 2. Допуски геометричні для елементів без спеціального позначення допусків (ISO 2768–2:1989, IDT). [Чинний від 2003-01-01] – К. :Держстандарт України, 2001. – 15 с.
12. ДСТУ ISO 286-1-2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилень та посадок (ISO 286–1:1988, IDT). [Чинний від 2003-10-01] – К. :Держспоживстандарт України, 2003. – 37 с.
13. ДСТУ 3321-96 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.

					КНУ.КБР.131.26.1-12.СВД					
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						
Розроб.		Кодіцький			Список використаних джерел			Літ.	Арк.	Архив
Перевір.		Рязанцев								
Реценз.										
Н. контр.		Нечаєв								
Зав. каф.		Рязанцев								
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22					

**АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Спеціальний різальний інструмент для обробки поверхонь
деталі «Вал-шестерня» та його інженерний аналіз з використанням
САПР-технологій

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Богдан КОБИЦЬКИЙ

Керівник КБР

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

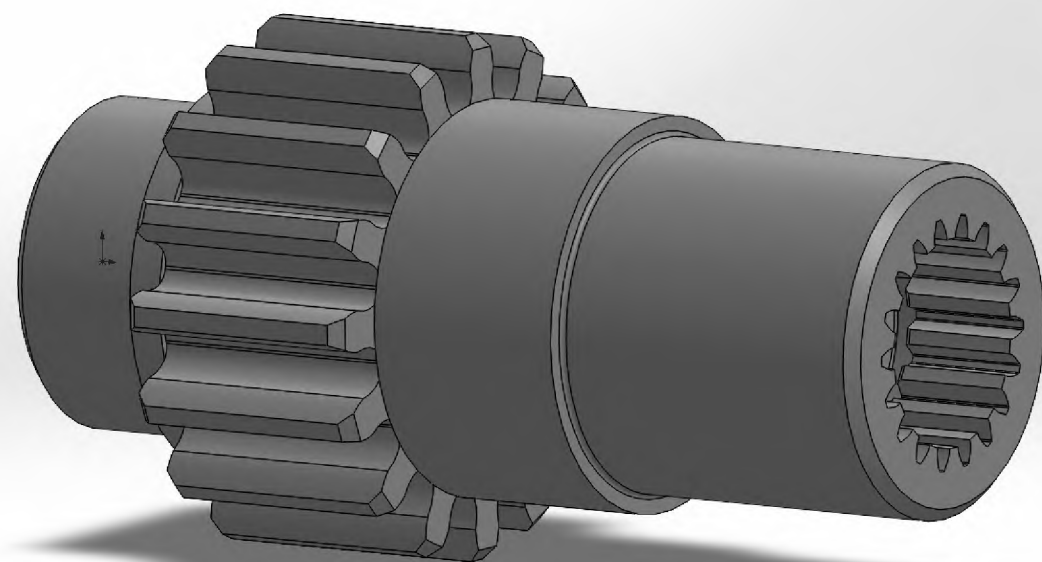
Антон РЯЗАНЦЕВ

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №						Креслення		
	A3		1	КНУ.КБР.131.26.1-12.ВШ	Вал-шестерня	1		
	A3		2	КНУ.КБР.131.26.1-12.ФДФ	Черв'ячна модульна фреза	1		
	A2		3	КНУ.КБР.131.26.1-12.ВІН	Верстатно-інструментальне налагодження	1		
	A3		4	КНУ.КБР.131.26.1-12.ІАСРІ	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	1		
	A3		5	КНУ.КБР.131.26.1-12.МПМО	Моделювання процесу механічної обробки	1		
Подп. и дата								
Взам. инв. №								
Инв. № дубл.								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
					КНУ.КБР.131.26.1-12.ВКІЗА			
Изм. Лист		№ докум.		Подп.	Дата			
Разрад.		Кодіцький				Відомість креслень та інформаційно-засвідчуючих аркушів КБР		
Пров.		Рязанцев						
Н.контр.		Нечаєв						
Утв.		Рязанцев						
						Лит.	Лист	Листов
						Н		1
						Кафедра ТМ гр. ПМ-22		

Зубчат
Модуль
Число з
Нормал
початк
Коєфіці
Ступінь
Ділильн

ТВЧ h0,8...1.2, 50...55HRC

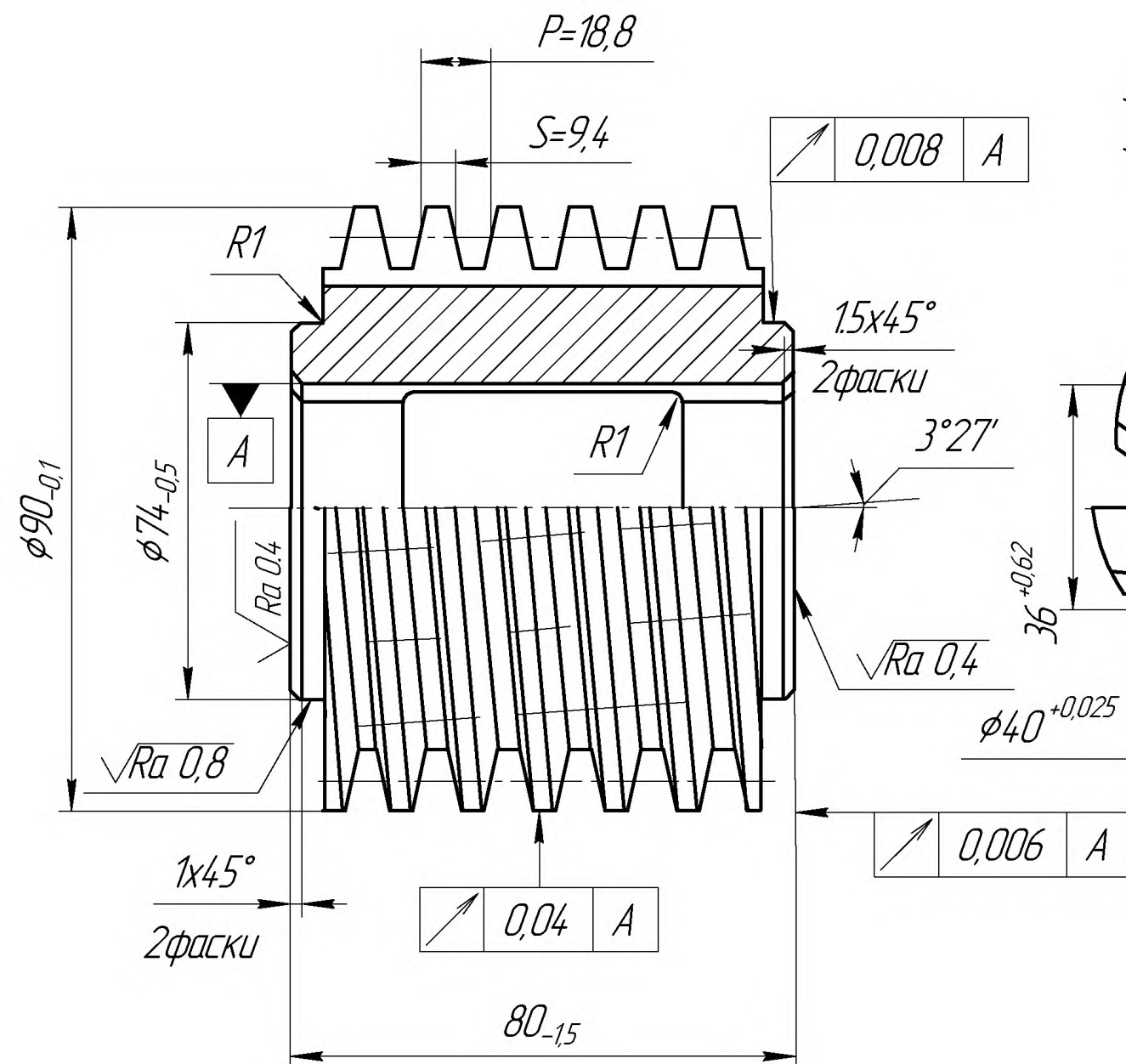
<i>Зубчастий вінець</i>		<i>A</i>	<i>B</i>
<i>Модуль</i>	<i>m</i>	6	2,5
<i>Число зубців</i>	<i>z</i>	16	1,8
<i>Нормальний початковий контур</i>	-	ISO 53:1998	ISO 53:1998
<i>Коефіцієнт зміщення</i>	<i>x</i>	- 0,5	0
<i>Ступінь точності</i>		8-8-7-B	8-8-7-B
<i>Ділильний діаметр</i>	<i>D</i>	96	45



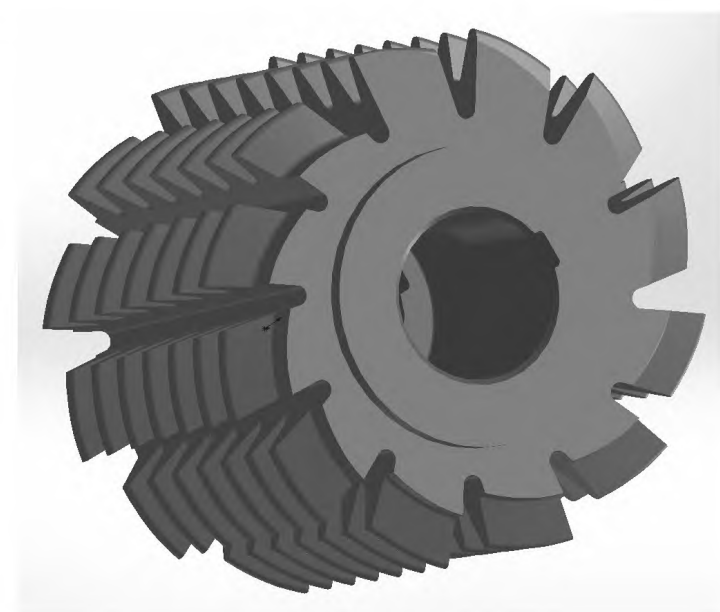
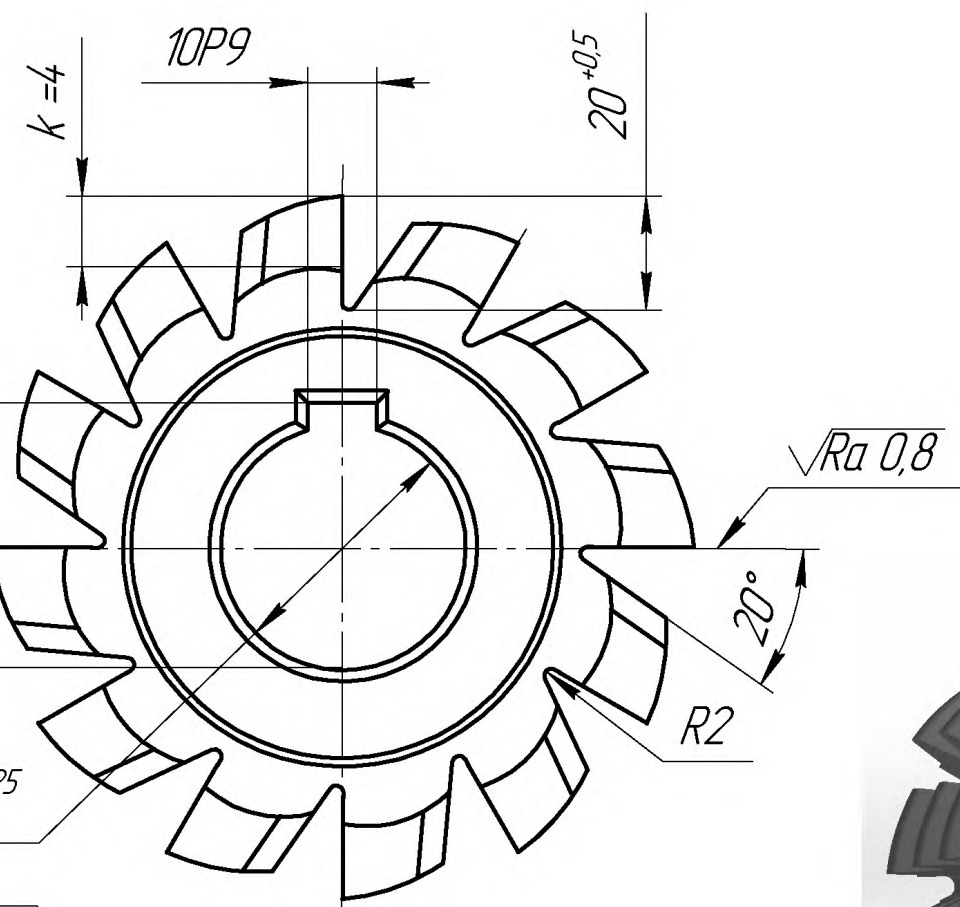
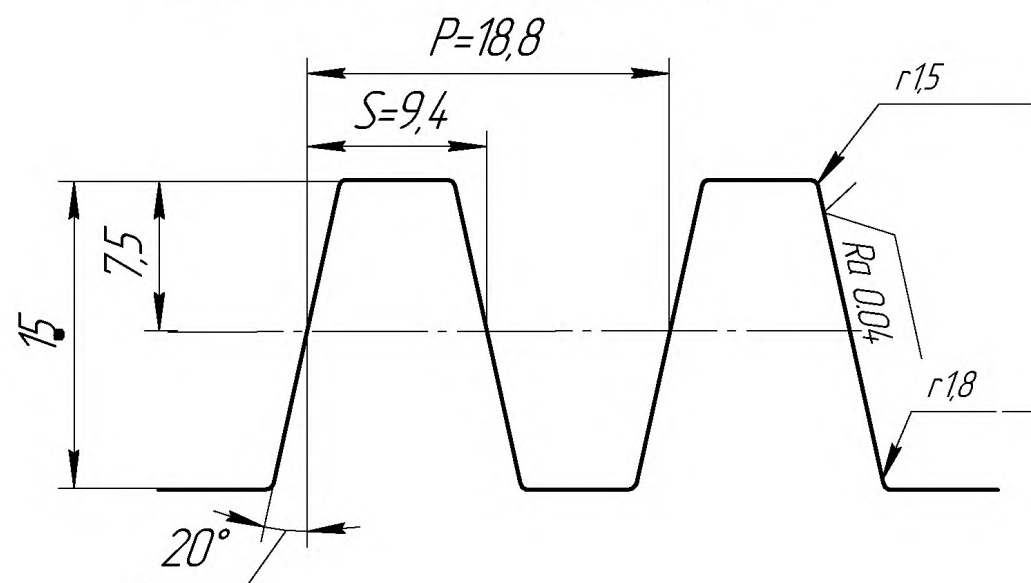
2. Невказані граничні відхилення за: $h14$, $H14$, $IT14/2$

					КНУ.КБР.131.26.1-12.ВШ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вал-шестреня	Лім.	Маса	Масштаб
Розробив	Кодіцький					Н		
Керівник	Рязанцев							
						Аркцш	Аркцшів	1
Н.контр.	Нечаєв				Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015	Кафедра ТМ		
Затв.	Рязанцев					гр. ПМ-22		

$\sqrt{Ra\ 3,2\ (\checkmark)}$



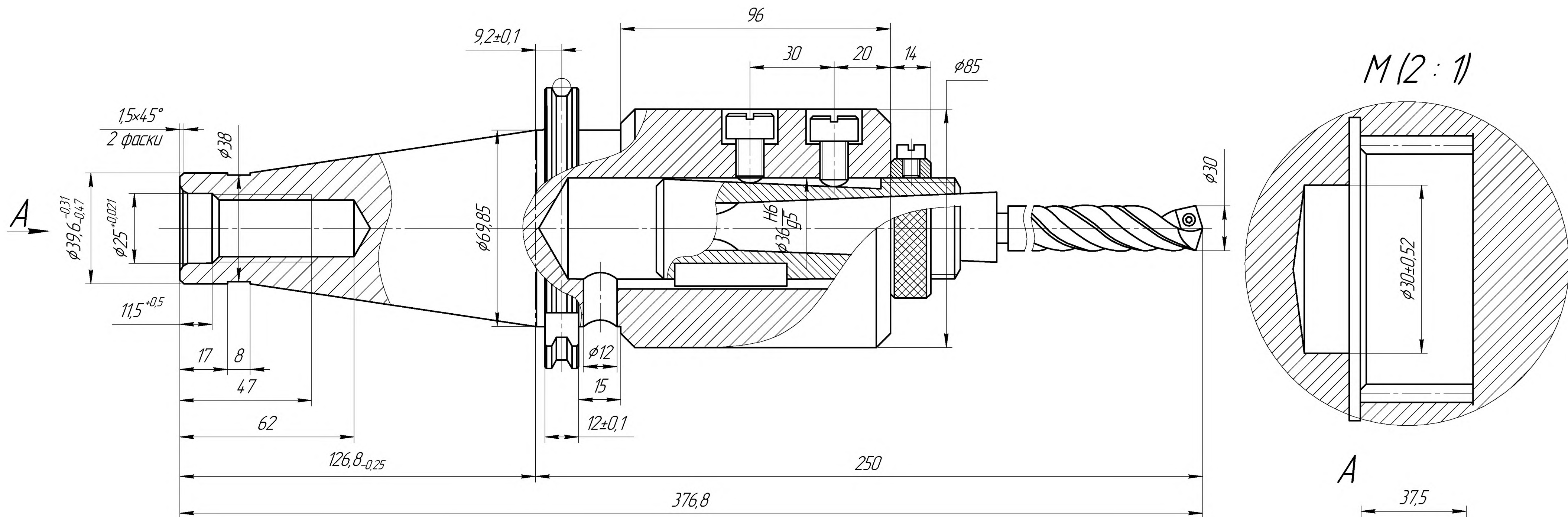
Профіль зуба в нормальному перетині



- Відхилення напрямку стружкових канавок не більше 40 мм на довжині робочої частини фрези.
- Відхилення товщини зуба трохи більше 0.05 мм.

КНУ.КБР.131.26.1-12.ЧМФ					Літ.			Маса	Масштаб
Черв'ячна модульна фреза					Аркш 5			Аркшів 6	1:1
Сталь Р6М5 ISO 4957					Кафедра ТМ гр. ПМ-22				
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата					
Разробив	Кодіцький								
Керівник	Рязанцев								
Н.контр.	Нечаєв								
Затв.	Рязанцев								

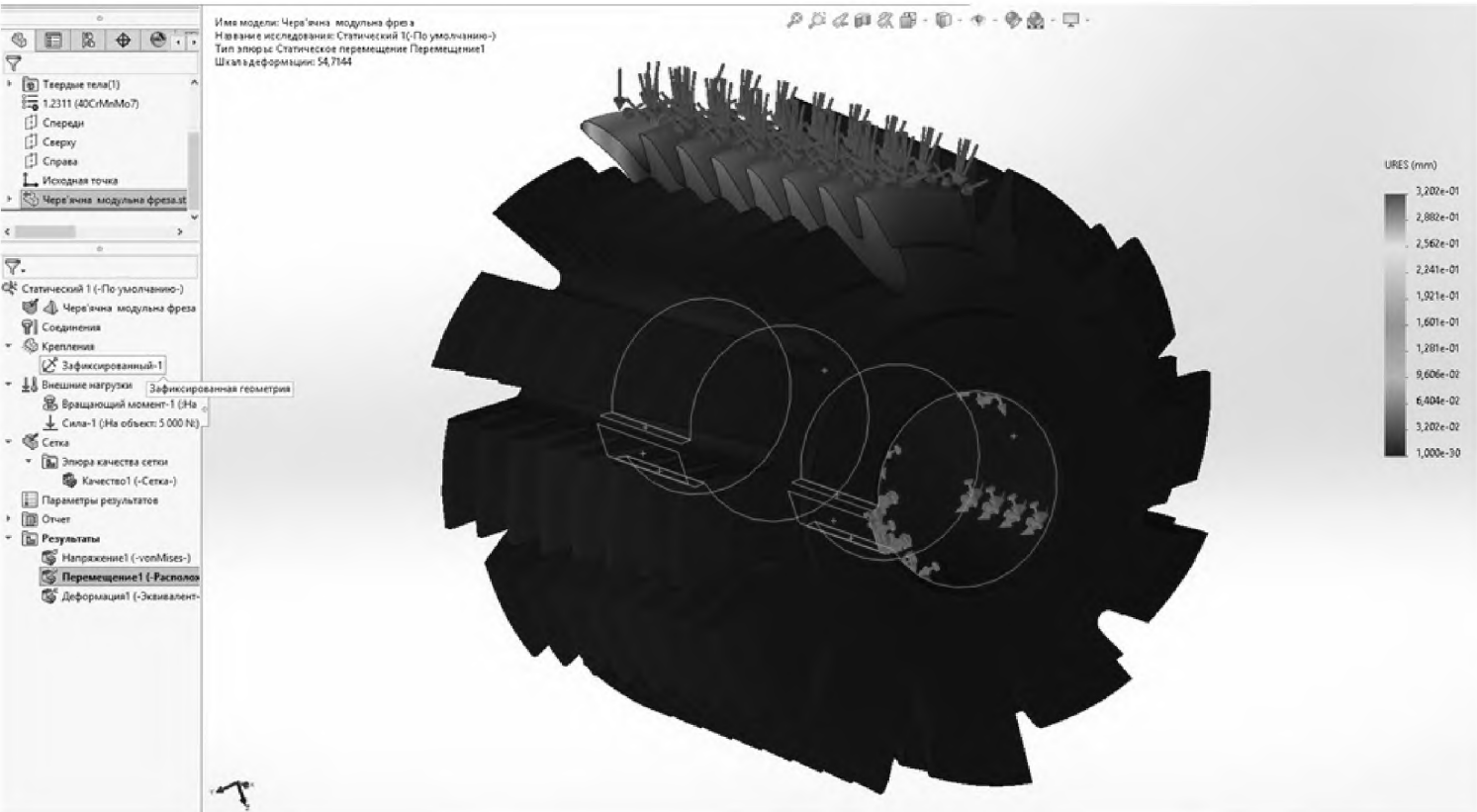
Операція: свердлильна. Модель верстату: NST-57/67



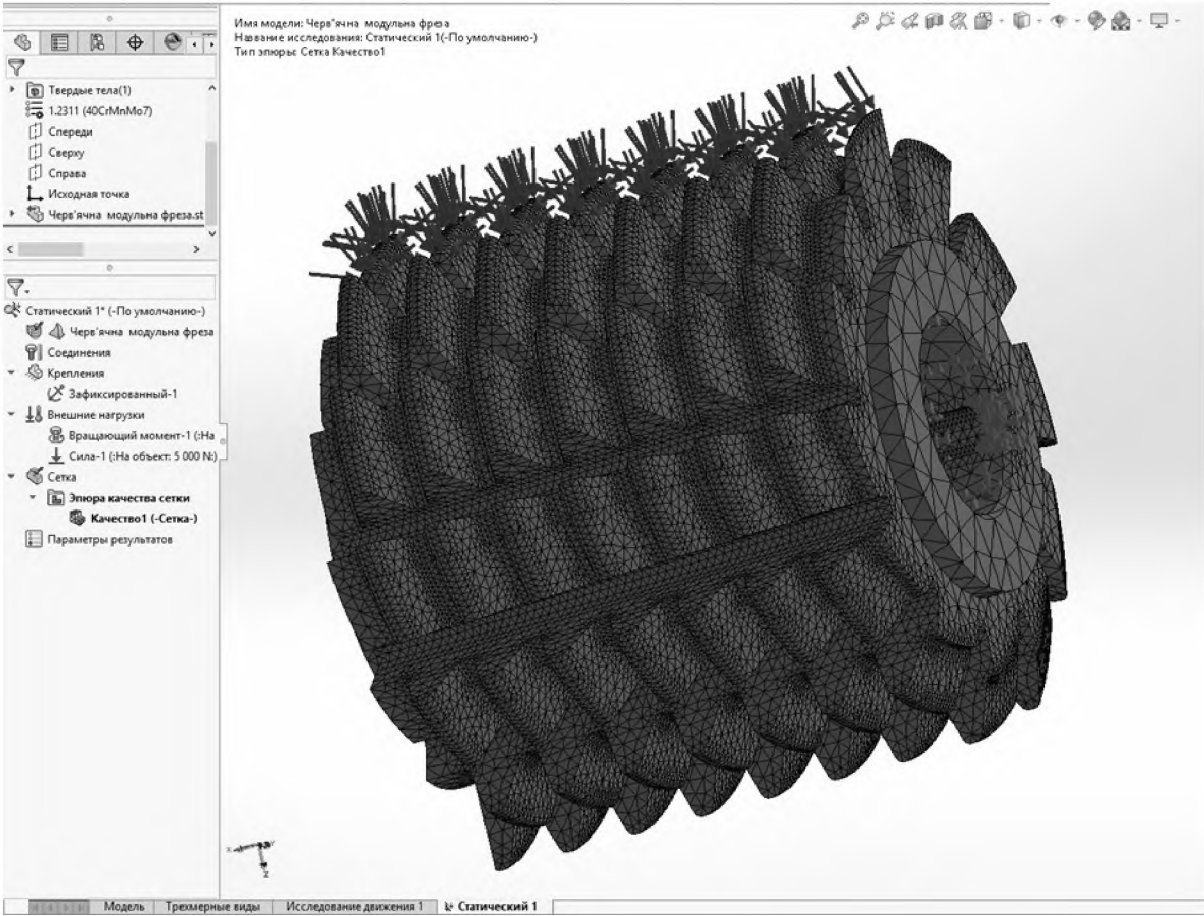
№ поз.	Інструмент	Пластина (геометрія)	Матеріал пластины	Допоміжний інструмент
1	Свердло зі змінними пластинами Gesac GHD-300-2D-FC32-Q09A	QPMG09T308	сплав GA4230	Оправка Weldon VT 30

					КНУ.КБР.131.26.1-12.ВІН			
Зм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Верстатно-інструментальне налагодження	Лит.	Маса	Масштаб
						Н		1:1
						Аркш		Аркшів 1
Н.контр.	Нечасів				Кафедра ТМ гр. ПМ-22			
Затв.	Рязанцев							

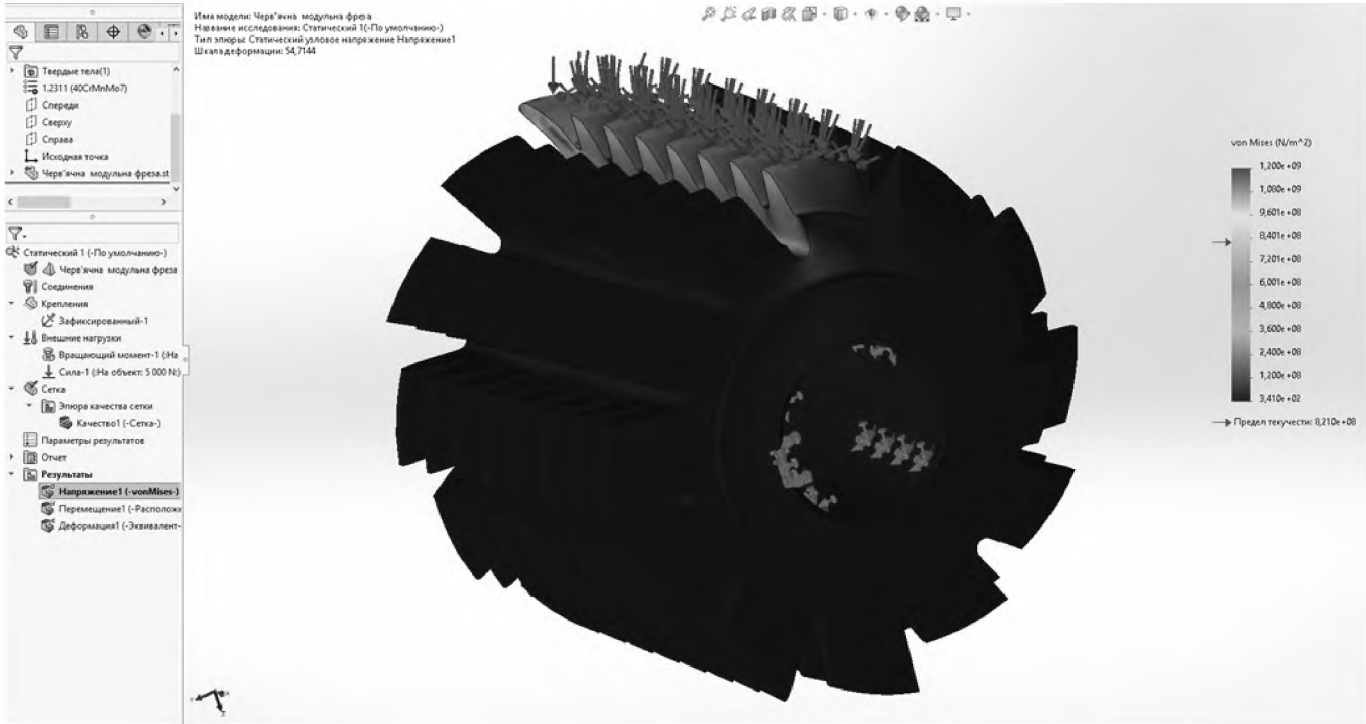
Симуляція «Переміщення» в SolidWorks Simulation



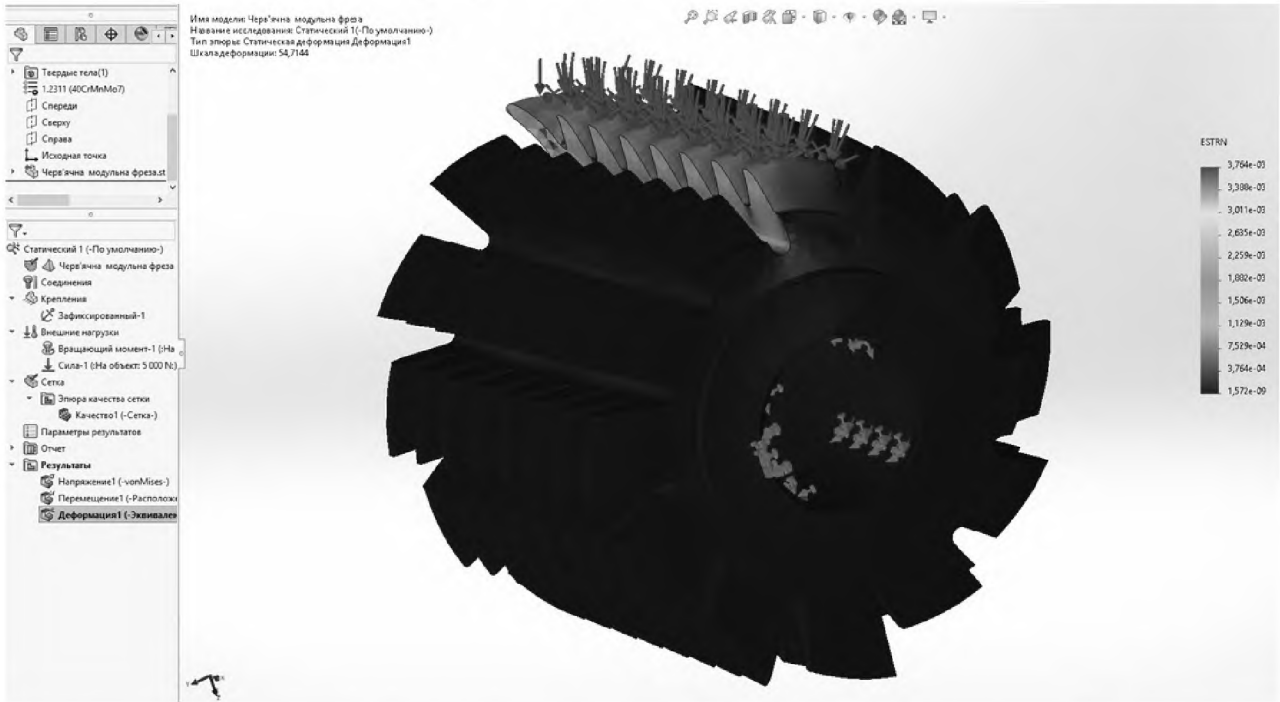
Сітка кінцевих елементів



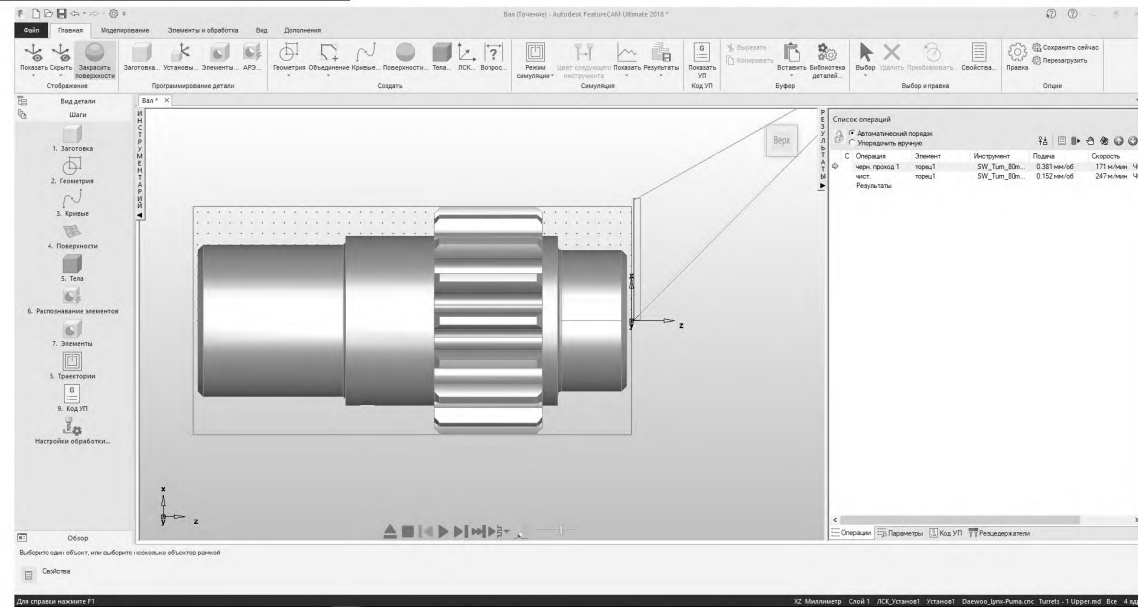
Симуляція «Напруження» в SolidWorks Simulation



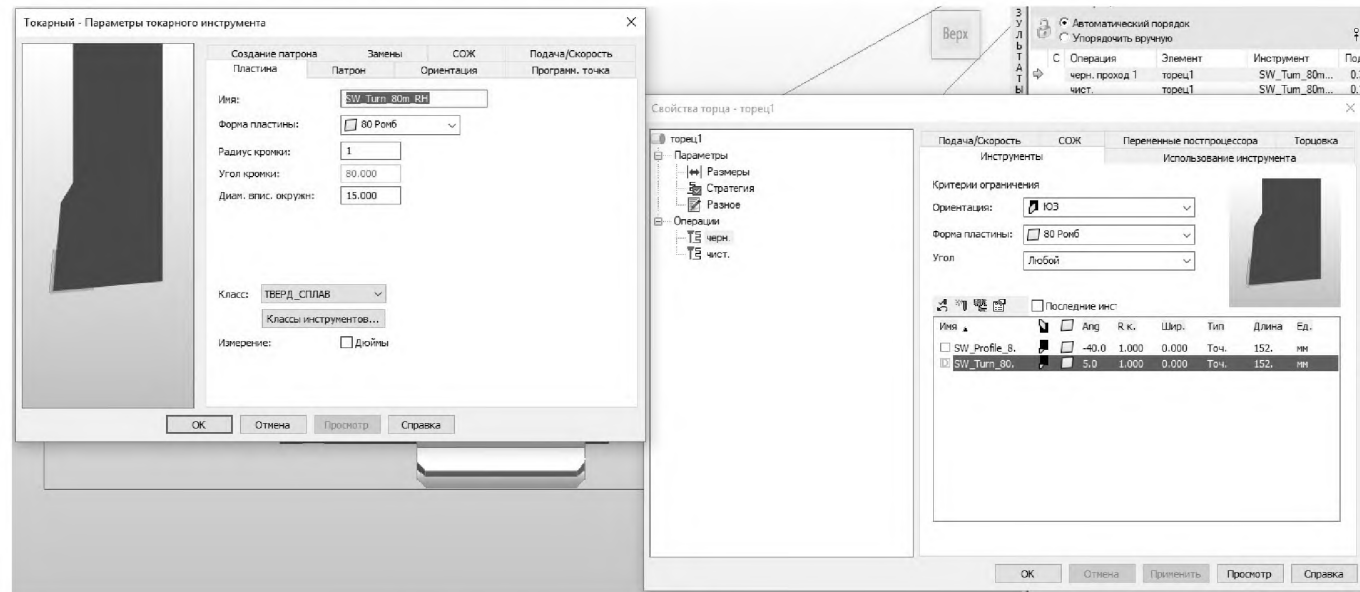
Симуляція «Деформація» в SolidWorks Simulation



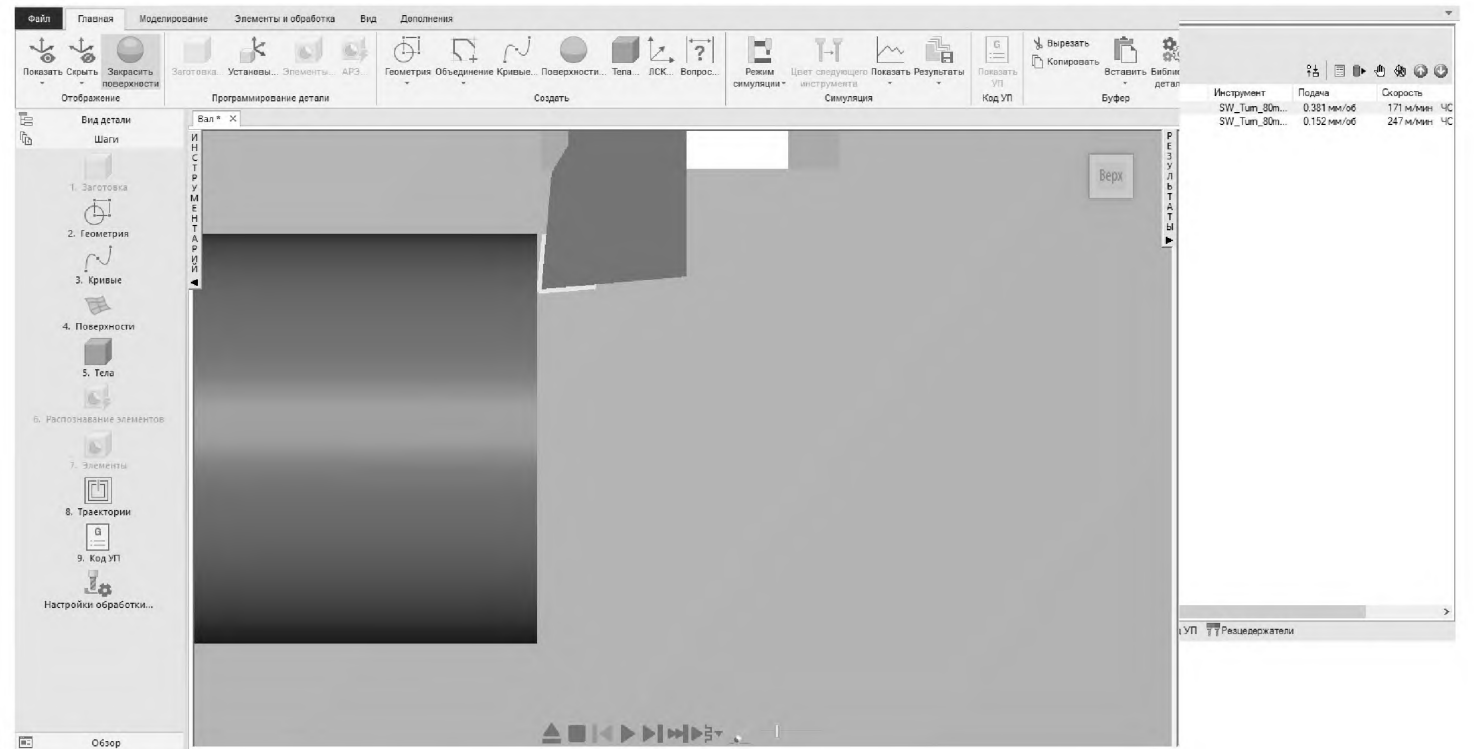
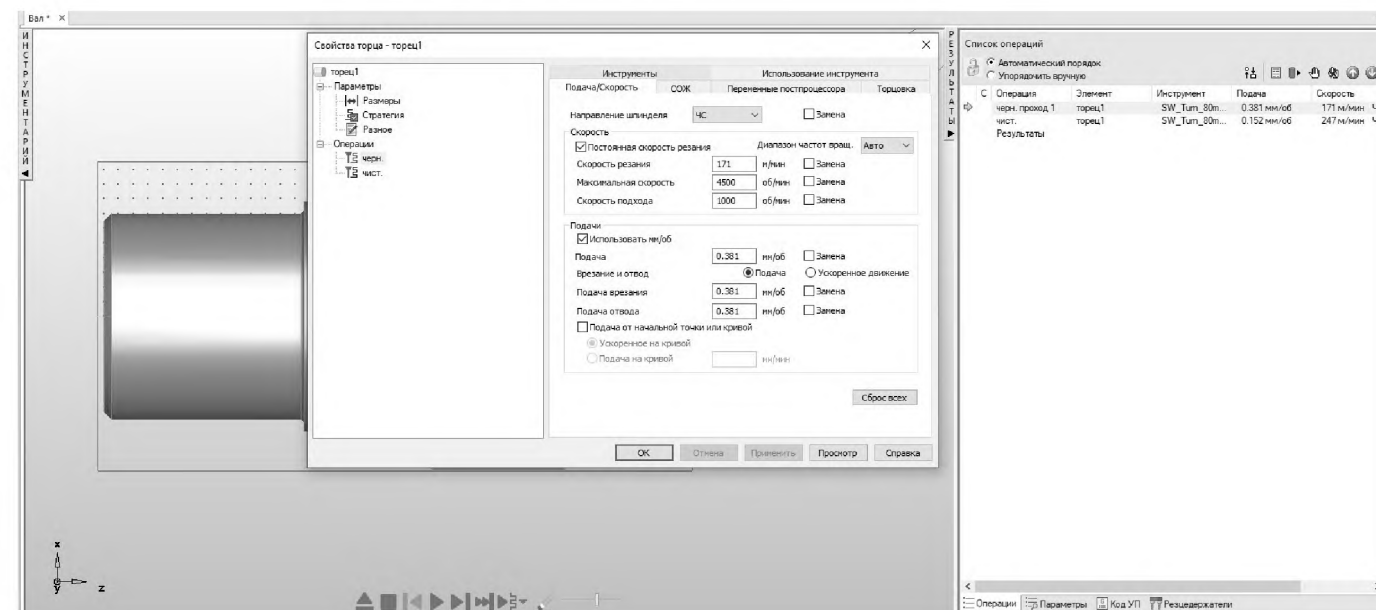
					КНУ.КБР.131.26.1-12.ІАСРІ						
					Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	Літ.		Маса		Масштаб	
						Н					
						Лист		Листів		1	
						Кафедра ТМ гр. ПМ-22					
Зм. Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив	Кодіцький										
Керівник	Рязанцев										
Н.контр.	Нечасів										
Затв.	Рязанцев										



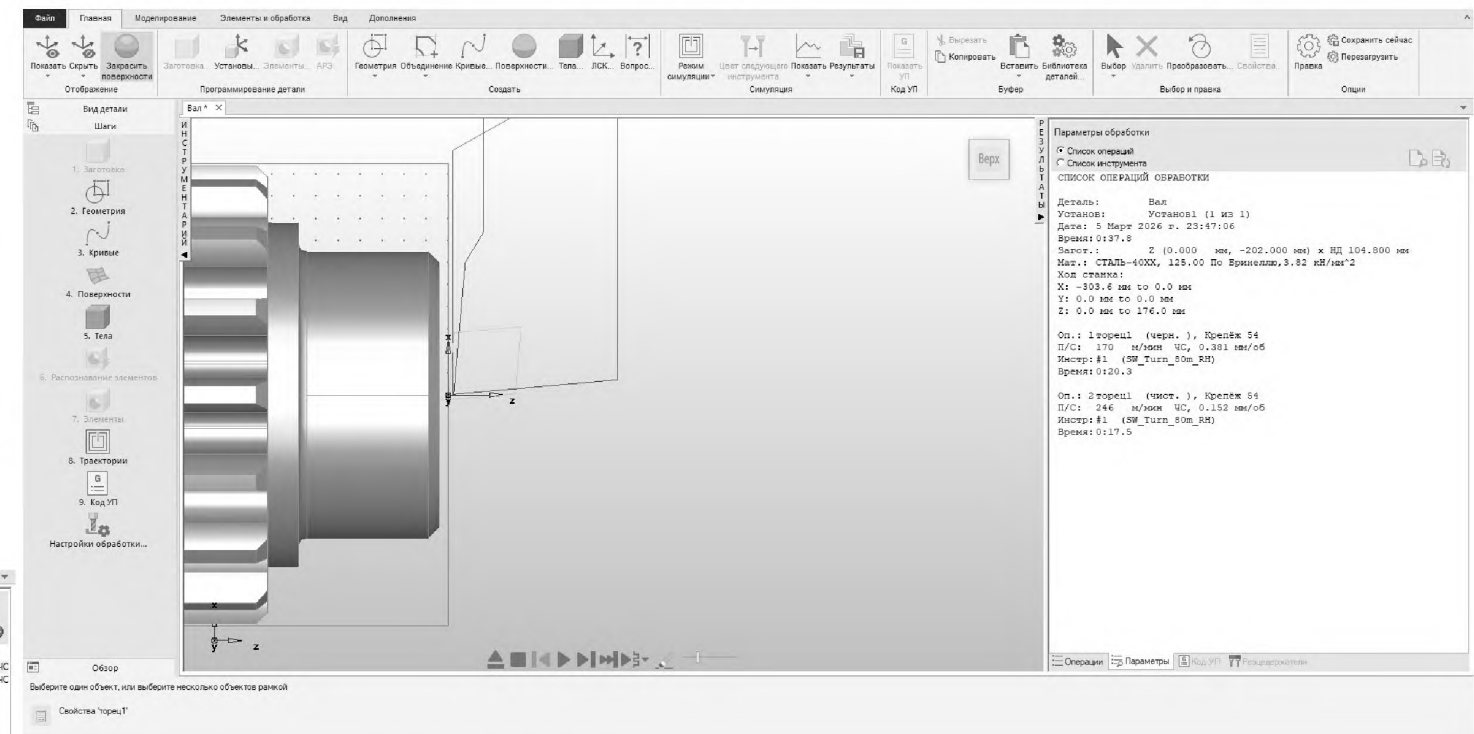
Етап вибору різального інструменту в меню програми



Вибір режимів різання



Фрагмент моделювання процесу обробки деталі (підвід інструменту)



КНУ.КБР.131.26.1-12.МПМО				Моделювання процесу механічної обробки		
Зм. Лист	№ док.ум.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив	Кодіцький			Н		
Керівник	Рязанцев			Лист	Листів	1
Н.контр.	Нечаєв			Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Затв.	Рязанцев					