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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Черв'ячний вал» та обґрунтування вибору комплексу технологічного обладнання й параметрів різального інструменту з використанням САПР - технологій

Виконав: здобувач групи ПМ-22
Єфіменко М.С.

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

Кривий Ріг
2026 р.

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Черв'ячний вал» та обґрунтування вибору комплексу технологічного обладнання й параметрів різального інструменту з використанням САПР - технологій

Виконав здобувач гр. ПМ-22 _____ Максим ЄФІМЕНКО
(підпис)

Керівник КБР _____ Олена БОНДАР
(підпис)

Нормоконтроль _____ Василь НЕЧАЄВ
(підпис)

Завідувач кафедри _____ Антон РЯЗАНЦЕВ
(підпис)

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 Єфіменко Максима Сергійовича

1. Тема: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Черв'ячний вал» та обґрунтування вибору комплексу технологічного обладнання й параметрів різального інструменту з використанням САПР-технологій

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

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

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

3. Вихідні дані до роботи: 1. Найменування вузла. 2. Кресленник деталі «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. Черв'ячний вал. 2. Верстатно-інструментальне налагодження. 3. Спеціальний різальний інструмент. 4. Моделювання процесу обробки. 5. Інженерний аналіз спеціального різального

інструменту.

6. Календарний план:

№ з/п	Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1.	Розробка та узгодження технічного завдання	25.02.2026
2.	Технічне завдання та аналіз вихідних даних	01.03.2026
3.	Призначення об'єкту виробництва	03.03.2026
4.	Аналіз технологічності деталі.	10.03.2026
5.	Кресленник деталі (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 ріжучої частини інструментів.	12.04.2026
9.	Розрахунок конструктивних параметрів ріжучої частини інструменту.	19.04.2026
10.	Вибір розмірів ріжучого інструменту.	25.04.2026
11.	Кресленник спеціального ріжучого інструменту (А2-А4).	01.05.2026
12.	Кресленник з інженерним аналізом спеціального різального інструменту	04.05.2026
13.	Вибір допоміжних інструментів.	08.05.2026
14.	Розробка та креслення об’єднаного верстатно-інструментального (А1-А2)	12.05.2026
15.	Моделювання та програмування операцій механічної обробки	15.05.2026
16.	Кресленник 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: «26» лютого 2026 р.

Завдання видав керівник КБР _____ / Бондар О.В./

Завдання отримав
здобувач освіти _____ / Єфіменко М.С./

ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ КБР

№	Формат	Позначення	Найменування	К-сть листів	Прим.
			Документація		
1	А4	КНУ.КБР.131.26.1-08.ПЗ	Пояснювальна записка		
			Графічні матеріали		
2	А2	КНУ.КБР.131.26.1-08.ЧВ	Черв’ячний вал	1	
3	А1	КНУ.КБР.131.26.1-08.ВІН	Верстатно-інструментальне налагодження	1	
4	А2	КНУ.КБР.131.26.1-08.РФК	Резець фасонний круглий	1	
5	А3	КНУ.КБР.131.26.1-08.ІАСРІ	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	1	
6	А3	КНУ.КБР.131.26.1-08.МПМО	Моделювання процесів механічної обробки в FeatureCAM	1	

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка до кваліфікаційної бакалаврської роботи містить 86 сторінок, 43 рисунки та 18 таблиць. Робота присвячена вирішенню питань конструкторсько - технологічної підготовки виробництва деталі «Черв'ячний вал», обґрунтуванню вибору технологічного обладнання та параметрів різального інструменту із застосуванням сучасних систем автоматизованого проєктування.

У процесі виконання роботи проведено аналіз службового призначення деталі, здійснено вибір матеріалу та способу отримання заготовки, а також розроблено маршрутно-операційний технологічний процес її механічної обробки. Значну увагу приділено вибору ріжучого та допоміжного інструменту відповідно до вимог міжнародних стандартів, а також проєктуванню спеціального різального інструменту з подальшим дослідженням його міцності та працездатності методами інженерного аналізу.

Одним із завдань роботи було моделювання та програмування операцій механічної обробки деталі «Черв'ячний вал» на верстатах з числовим програмним керуванням. Для цього виконано розроблення керуючих програм для токарних, фрезерних та свердлильних операцій, а також проведено оцінювання організаційно-економічної ефективності запропонованого виробничого процесу.

У роботі також розглянуто питання охорони праці та екологічної безпеки виробництва. Проаналізовано вплив відходів металообробки, зокрема стружки та мастильно-охолоджувальних рідин, на персонал і навколишнє середовище, а також запропоновано комплекс заходів, спрямованих на підвищення рівня безпеки праці та мінімізацію негативного впливу виробництва на довкілля.

Для виконання дослідження використано сучасні каталоги металорізального інструменту, нормативно-технічну документацію та програмні комплекси SOLIDWORKS і Autodesk FeatureCAM. SOLIDWORKS застосовувався для створення тривимірних моделей та проведення інженерних розрахунків, тоді як Autodesk FeatureCAM використовувався для моделювання та програмування технологічних процесів механічної обробки. Як технологічне обладнання обрано сучасні верстати з ЧПК, зокрема токарний верстат Optimum L520, фрезерний верстат HAAS VR-8 та шліфувальний верстат Supertec G38TH-100CNC, що забезпечують необхідну точність, продуктивність і стабільність виготовлення деталі в умовах серійного виробництва.

ВАЛ ЧЕРВ'ЯЧНИЙ, ЧПК, SOLIDWORKS, FEATURECAM, МЕХАНІЧНА ОБРОБКА, РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ, ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

ABSTRACT

The explanatory note to the Bachelor's Qualification Thesis comprises 86 pages, 43 figures, and 18 tables. The thesis is devoted to the design and technological preparation for the manufacturing of a Worm Shaft part, as well as to the justification of the selection of technological equipment and cutting tool parameters using modern computer-aided design (CAD) systems.

During the course of the study, an analysis of the functional purpose of the part was carried out, the material and blank production method were selected, and a route-operation machining process was developed. Particular attention was paid to the selection of cutting and auxiliary tools in accordance with international standards, as well as to the design of a special cutting tool followed by an engineering analysis of its strength and operational performance.

One of the objectives of the thesis was the simulation and programming of machining operations for the Worm Shaft part on CNC machine tools. To achieve this, CNC programs were developed for turning, milling, and drilling operations, and an assessment of the organizational and economic efficiency of the proposed manufacturing process was performed.

The thesis also addresses issues related to occupational safety and environmental protection in manufacturing. The impact of metalworking waste, including chips and cutting fluids, on personnel and the environment was analyzed, and a set of measures aimed at improving workplace safety and reducing the negative environmental impact of production was proposed.

The research was conducted using modern cutting tool catalogs, regulatory and technical documentation, and the SOLIDWORKS and Autodesk FeatureCAM software packages. SOLIDWORKS was used for creating three-dimensional models and performing engineering analyses, while Autodesk FeatureCAM was employed for the simulation and programming of machining processes. Modern CNC machine tools were selected as technological equipment, including the Optimum L520 lathe, the HAAS VR-8 milling machine, and the Supertec G38TH-100CNC grinding machine, which ensure the required accuracy, productivity, and stability of part manufacturing under serial production conditions.

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

ЗМІСТ

ВСТУП 8
1. АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЕТАЛІ 10
1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних 10
1.2 Призначення об'єкту виробництва 12
1.3 Розрахунок параметрів точності шпонкового з’єднання 14
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ 16
2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу та його замінник. 16
2.2 Аналіз якості поверхонь деталі 17
2.3 Вибір та обґрунтування методу отримання заготовки 22
2.4 Аналіз технологічності конструкції деталі 23
2.5 Технічний контроль робочого креслення 24
2.6 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання 24
2.6 Характеристика верстатного оснащення 34
3. ВИБІР РІЖУЧИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ 35
3.1 Вибір різального та вимірювального інструменту 35
3.2 Вибір типорозміру різальних інструментів 49
3.3 Розрахунок режимів різання 53
3.4 Технічне нормування 54
3.5 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту 55
3.6 Компоновка інструментального комплексу чи системи та розробка інструментально налагодження на технологічну операцію деталі 56
4. ПРОЄКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ 61
4.1 Розрахунок та проєктування спеціального різального інструменту 61
4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту 67
5. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ 71
5.1 Робота з проміжними файлами, налаштування постпроцесора 71
5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм 72
6. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА 78
6.1 Охорона праці та екологія виробництва 78
6.2 Оцінка техніко-економічної ефективності вибору токарного обладнання 79
ВИСНОВКИ 82
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 84
ДОДАТКИ 85

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку промисловості машинобудування залишається однією з провідних галузей економіки, яка визначає рівень технологічного прогресу та конкурентоспроможність виробництва. Продукція машинобудування використовується практично в усіх сферах людської діяльності - від високоточного медичного обладнання та робототехнічних систем до важкої техніки для гірничодобувної, енергетичної та транспортної галузей. Постійне зростання вимог до точності, надійності, довговічності та продуктивності машин і механізмів зумовлює необхідність удосконалення технологічних процесів виготовлення деталей, застосування сучасного металорізального обладнання та впровадження інноваційних методів проєктування.

Одним із ключових напрямів розвитку сучасного машинобудування є використання систем автоматизованого проєктування та технологічної підготовки виробництва, які дозволяють значно скоротити терміни розробки виробів, підвищити якість конструкторських рішень і забезпечити ефективне планування технологічних процесів. Застосування сучасних CAD/CAM/CAE-систем дає можливість виконувати тривимірне моделювання деталей та інструменту, проводити інженерний аналіз їхньої міцності та працездатності, а також моделювати процеси механічної обробки ще на етапі проєктування.

Метою даної кваліфікаційної бакалаврської роботи є конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення валу червячного із застосуванням сучасних методів проєктування та технологічного забезпечення виробництва. Досягнення поставленої мети передбачає вирішення комплексу взаємопов'язаних завдань, серед яких аналіз конструкції та службового призначення деталі, вибір матеріалу та способу отримання заготовки, розроблення технологічного процесу механічної обробки, підбір стандартного та проєктування спеціального різального інструменту, а також моделювання процесів обробки на верстатах з числовим програмним керуванням.

У процесі виконання роботи було проведено детальний аналіз конструктивних особливостей деталі та її поверхонь з метою вибору оптимальних методів обробки та відповідного різального інструменту. Для забезпечення необхідної точності та продуктивності виготовлення виконано розрахунок параметрів спеціального інструменту –фасонного круглого різця, а також проведено інженерний аналіз його напружено-деформованого стану та працездатності в умовах експлуатації. Крім того, розроблено технологічні маршрути обробки, виконано моделювання процесів механічної обробки та сформовано керуючі програми для верстатів з ЧПК.

Важливою складовою роботи є організаційно-економічне обґрунтування запропонованих технічних рішень, яке дозволяє оцінити доцільність їх впровадження у виробництво. Окрему увагу приділено питанням охорони праці та екологічної безпеки, зокрема аналізу впливу виробничих факторів і відходів металообробки на працівників та навколишнє середовище, а також розробленню заходів щодо підвищення рівня безпеки праці та зменшення негативного екологічного впливу.

Практична цінність виконаної роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для вдосконалення технологічних процесів механічної обробки деталей машин, підвищення ефективності використання металорізального інструменту та обладнання, покращення якості готової продукції й зниження виробничих витрат. Запропоновані технічні та технологічні рішення можуть бути використані при модернізації існуючих виробництв і впровадженні сучасних цифрових технологій у машинобудівній галузі.

1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних

Вихідними даними до кваліфікаційної бакалаврської роботи є креслення «Черв'ячний вал» зображене на рисунку 1.1.

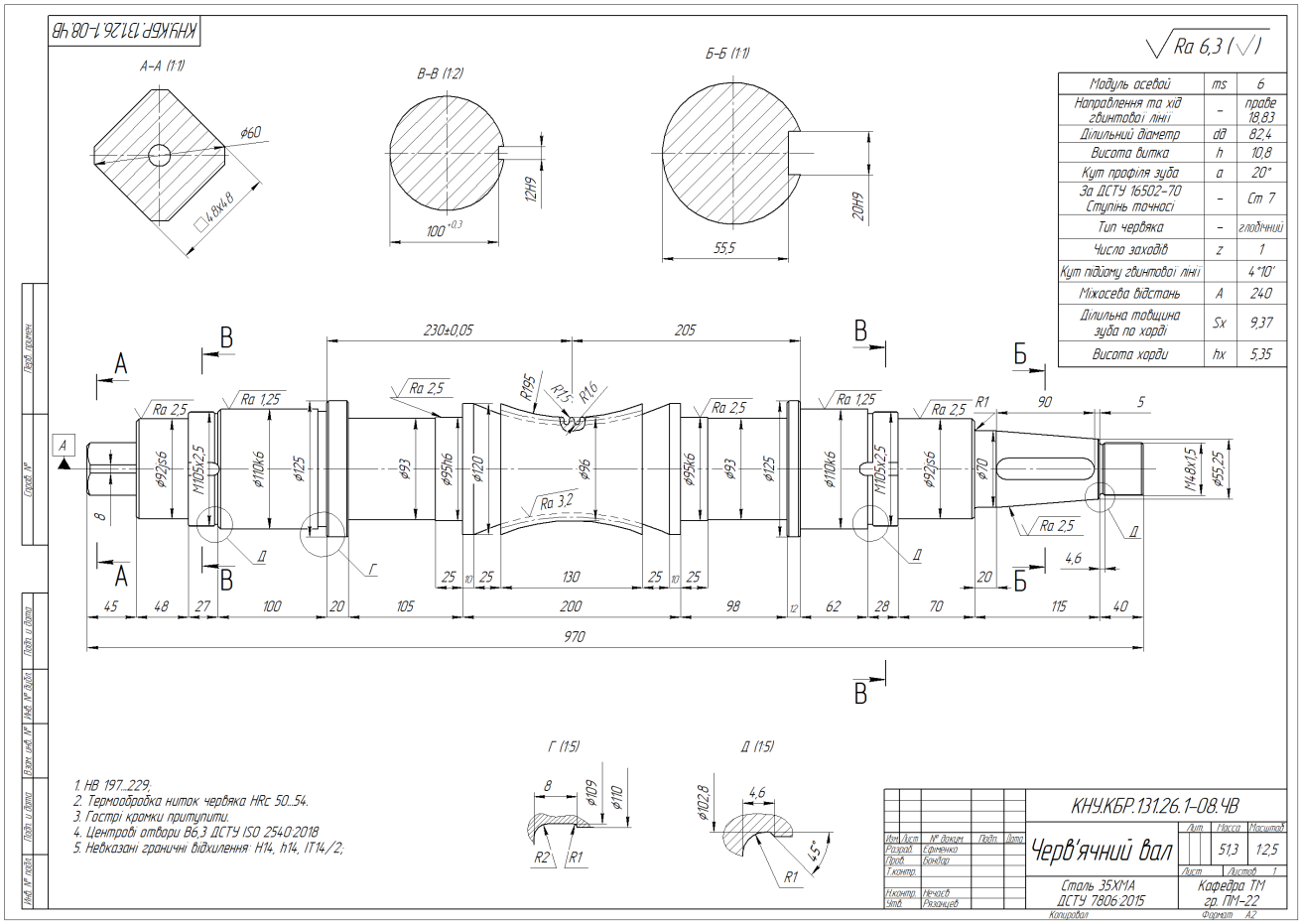


Рисунок 1.1 – Креслення деталі «Черв'ячний вал»

Надана графічна документація є технічним кресленням вала черв'ячного глобоїдного типу.

Даний документ містить вичерпну інформацію щодо конструктивного виконання, геометричних параметрів, допусків та регламентованих технічних умов виробництва.

Виріб має виражену ступінчасту форму із загальною габаритною довжиною 970 мм та максимальним зовнішнім діаметром 125 мм.

Конструкція включає низку специфічних функціональних елементів, зокрема квадратний профіль перерізом 48x48 мм на одному торці (згідно з розрізом А-А) та конічну ділянку з метричною різьбою М48x1.5 на протилежному кінці вала.

Основними робочими поверхнями виробу є посадкові шийки з жорсткими допусками, зокрема ø92s6, ø110k6 та ø95k6, що свідчить про високу точність спряження з іншими деталями механізму. Для фіксації суміжних елементів передбачено два шпонкових пази шириною 12H9 та 20H9, параметри яких детально відображені на перерізах В-В та Б-Б. Центральна частина деталі являє собою глобоїдний черв'як з осьовим модулем ms = 6 та одиничним числом заходів z = 1, що відповідає 7-му ступеню точності згідно з ДСТУ 16502-70.

Для виготовлення виробу застосовується легована конструкційна сталь 35ХМА, що забезпечує необхідні механічні властивості. Згідно з технологічними вимогами, деталь піддається поетапному термічному впливу для отримання неоднорідної структури міцності. Основний масив металу доводиться до стану HB 197...229, що гарантує в'язкість та витривалість основи. Водночас робочі зони, а саме поверхні витків черв'яка, проходять процедуру додаткового гартування до рівня HRC 50...54 для мінімізації спрацювання під час експлуатації.

Технічні характеристики

Параметр	Опис та значення
Марка матеріалу	Сталь 35ХМА (конструкційна легована)
Загальний стан	Термічно оброблена до твердості HB 197...229
Зміцнення робочих зон	Поверхні витків черв'яка зі зміцненням до HRC 50...54
Тип обробки	Диференційована (комбінована) термічна обробка

Для нашого випадку (черв'як із твердістю витків HRC 50...54) найбільш раціональною заміною буде сталь 38Х2МЮА

Складні геометричні елементи, як-от канавки для виходу інструменту та радіусні переходи, винесені на окремі види Г та Д у збільшеному масштабі 1:5 для забезпечення точності виготовлення.

Завдяки високому ступеню деталізації та наявності повного переліку метрологічних характеристик, дане креслення є достатньою базою для розробки технологічного процесу механічної обробки деталі «Черв'ячний вал».

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

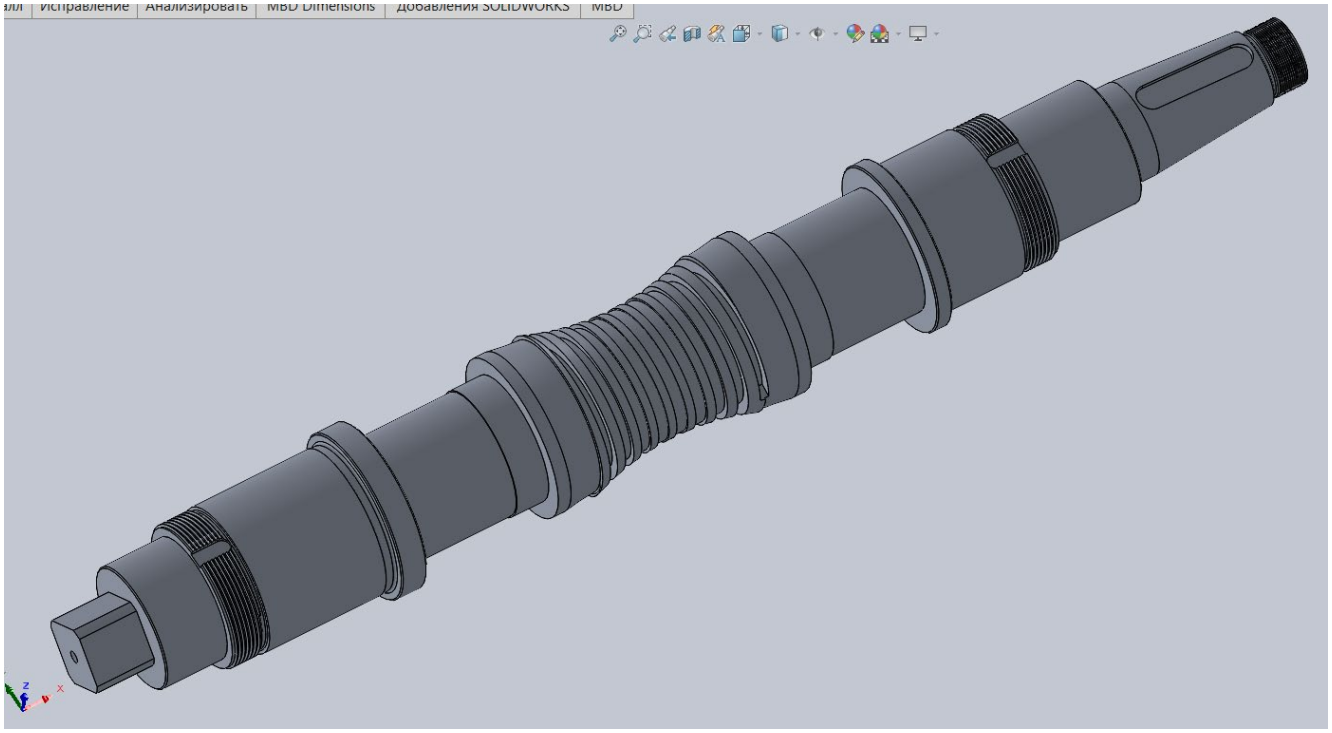


Рисунок 1.2 – 3D-модель деталі

1.2 Призначення об'єкту виробництва

Об'єктом виробництва в даній роботі є вал черв'ячний глобоїдного типу, який є ключовим компонентом приводного механізму токарно-гвинторізного верстата з ЧПУ моделі 16К20Ф3С32.

Дана деталь призначена для передачі крутного моменту і забезпечення високої точності переміщень виконавчих органів верстата при значних передавальних числах в умовах обмеженого простору корпусу вузла.

Рисунок 1.3 – Загальний вид токарного верстата 16К20Ф3С32

Конструктивна будова деталі обумовлена складними умовами її експлуатації. Робоча частина вала виконана у формі глобоїда з модулем ms = 6 та одиничним числом заходів z = 1.

Характеристика будови та принцип роботи

Вал черв'ячний глобоїдного типу відрізняється специфічною увігнутою формою робочої частини, що дозволяє реалізувати багатопарне зачеплення з черв'ячним колесом. Така геометрія забезпечує підвищену навантажувальну здатність, плавність ходу і безшумність роботи, що критично важливо для роботи верстата 16К20Ф3С32 в режимах високоточної металообробки.

Конструкція вала включає в себе наступні функціональні елементи:

Глобоїдний черв'як з модулем ms=6 і числом заходів z=1, що забезпечує передачу зусилля через гвинтове зачеплення.

Посадкові шийки (діаметрами ø92s6, ø110k6), що служать для базування вала в прецизійних підшипникових опорах, які сприймають радіальні і значні осьові навантаження.

Приводний кінець у формі квадрата перетином 48x48 мм, призначений для жорсткого з'єднання з муфтою приводного електродвигуна.

Різьбова ділянка M48x1,5 на торці, необхідна для осьової фіксації підшипникового вузла і регулювання натягу.

Принцип роботи вузла заснований на трансформації обертального руху: при обертанні черв'ячного вала його витки переміщують зуби веденого колеса, забезпечуючи передачу енергії з одночасним зниженням частоти обертання і збільшенням крутного моменту.

Характеристика кінематичних і силових ланцюгів

У верстаті 16К20Ф3С32 черв'ячний вал є провідною ланкою в ланцюзі передачі руху від двигуна до робочих органів.

Кінематичний ланцюг приводу включає:

Електродвигун головного руху або приводу подач.

З'єднувальну муфту, що взаємодіє з квадратним хвостовиком вала.

Глобоїдну черв'ячну пару, що здійснює зниження обертів із заданим передавальним числом.

Вихідний вал (або шпиндель), що приводить у рух інструмент або заготовку.

Силовий ланцюг характеризується сприйняттям високих контактних напруг в зоні зачеплення. Оскільки черв'ячна передача працює в умовах підвищеного тертя ковзання, вал виготовляється з конструкційної легованої сталі 40Х з подальшою термічною обробкою для забезпечення зносостійкості робочих поверхонь. Конструкція верстата 16К20Ф3С32 дозволяє ефективно розподіляти зусилля, що виникають, на станину через систему жорстких опор, забезпечуючи точність і стабільність процесу різання.

1.3 Розрахунок параметрів точності шпонкового з’єднання

Розрахунок проведено для двох шпонкових пазів «Вала черв’ячного» згідно з вимогами ДСТУ 25347-82. Для забезпечення вільного складання обрано посадку в системі вала з полем допуску паза Н9 та шпонки h9.

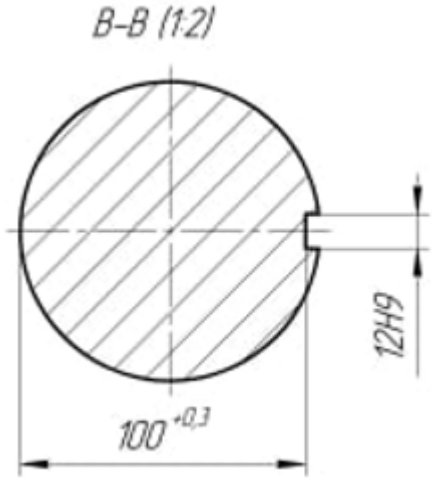


Рисунок 1.4 – З’єднання шириною b = 12 мм (Переріз В-В)

Дане з’єднання розташоване на ділянці вала діаметром Ø 100 мм.

Посадка: 12 Н9/h9.

Для паза вала (12Н9):

Верхнє відхилення ES = +0,043 мм.

Нижнє відхилення EI = 0 мм.

Граничні розміри паза: $b_{max} = 12{,}043$ мм; $b_{min} = 12{,}000$ мм.

Допуск паза Тр = 0,043 мм.

Для шпонки (12h9):

Верхнє відхилення es = 0 мм.
Нижнє відхилення ei = -0,043 мм.
Граничні розміри шпонки: $b_{max} = 12{,}000$ мм; $b_{min} = 11{,}957$ мм.
Допуск шпонки Тш = 0,043 мм.
Розрахункові зазори:
Максимальний зазор S_{max} = 0,086 мм.
Мінімальний зазор S_{min} = 0 мм.

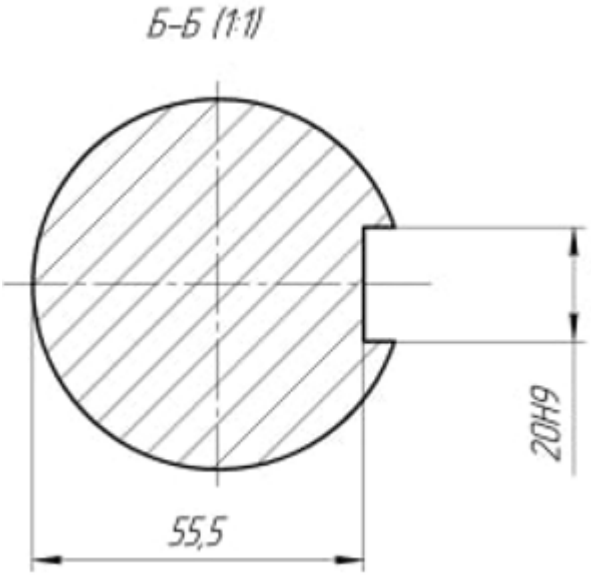


Рисунок 1.5 – З'єднання шириною b = 20 мм (Переріз Б-Б)

Розташоване на ділянці вала діаметром Ø 70 мм
Посадка: 20 H9/h9.
Для паза вала (20H9):
Верхнє відхилення ES = +0,052 мм.
Нижнє відхилення EI = 0 мм.
Граничні розміри паза: $b_{max} = 20{,}052$ мм; $b_{min} = 20{,}000$ мм.
Допуск паза Тр = 0,052 мм.
Для шпонки (20h9):
Верхнє відхилення es = 0 мм.
Нижнє відхилення ei = -0,052 мм.
Граничні розміри шпонки$b_{max} = 20{,}000$ мм; $b_{min} = 19{,}948$ мм.
Допуск шпонки Тш = 0,052 мм.
Розрахункові зазори:
Максимальний зазор S_{max} = 0,104 мм.
Мінімальний зазор S_{min} = 0 мм.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу та його замінник.

Черв'ячний вал являє собою видозмінений гвинт із трапецієподібним різьбленням, завдяки якому він зачіпляється з шестернею в черв'ячній передачі. Застосовується такий виріб для передачі зусиль обертальних рухів між валами, що перетинаються під прямим кутом один до одного.

Черв'ячні вали застосовуються в харчовій промисловості, машинобудуванні, сільському господарстві, будівництві, видобутку копалин і навіть у побуті.

Виготовлення черв'ячного вала являє собою сукупність операцій, що дозволяють створювати деталі різних конфігурацій.

Черв'яки розрізняються за:

- формою твірної поверхні (циліндричні та глобоїдні);
- формою гвинтової поверхні (архімедові, конволютні, евольвентні, трапецеїдальні).

Дані про матеріал деталі приводяться у таблицях 2.1 та 2.2

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 35ХМА

Марка матеріалу	C %	Si %	Mn %	S %	P %	Ni %	Cr %	Cu %
35ХМА ДСТУ EN 110025-22007	0,32–0,42	0,17–0,37	0,25-0,50	до 0,025	до 0,025	до 0,50	0,90-1,30	до 0,20

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі 35ХМА

Сортамент	Розмір	$s_{в, МПа}$	$s_{Т, МПа}$	$d_{5, \%}$	$y_{, \%}$	Термообробка
Пруток 35ХМА	Ø 40	615	395	17	45	Гартування 880°С, масло, Відпуск 540°С, вода

Керуючись кінцевими вимогами до точності і якості поверхрнь деталей, обираємо послідновно застосовувані тех.методи обробки, сукупність яких забезпечить на робочому кресленні якість поверхні.

2.2 Аналіз якості поверхонь деталі

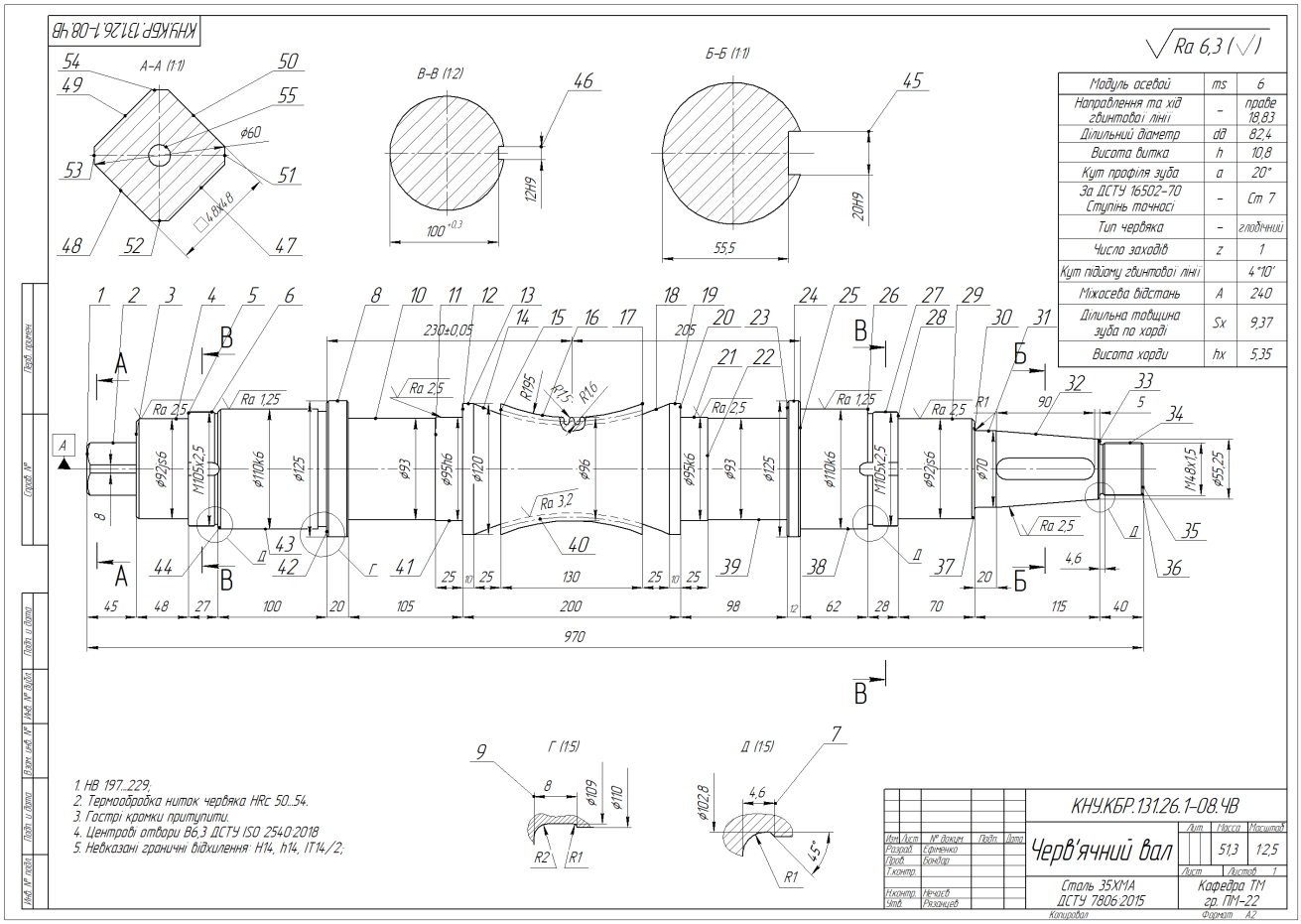


Рисунок 2.1 – Нумерація поверхонь деталі

Обрана послідовність обробки приводиться в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технологічні методи з обробки поверхонь деталі

№з/п	Розмір, мм	Технологічні методи обробки	Ra	IT
1	2	3	4	5
1, 35	970	Підрізання торця чорнове	6,3	14
		Підрізання торця пів чистове	12,5 6,3	14 14
2	⌀60	т.чорнове	6,3	14
		т.п/чистове	12,5 6,3	14 14
3	45		2,5	6

		Підрізання торця чорнове Підрізання торця чистове Підрізання торця чистове шліфування	12,5 6,3 3,2 2,5	14 14 7 6
4	⌀92js6	т.чорнове т.п/чистове т.чистове шліфування	2,5	6
			12,5 6,3 3,2 2,5	14 14 7 js 6
5	27	Підрізання торця чорнове Підрізання торця чистове	6,3	14
			12,5 6,3	14 14
6, 27	M105x2,5	т.чорнове т.п/чистове	6,3	14
			12,5 6,3	14 14
7	4,6	т.чорнове т.п/чистове	6,3	
			12,5 6,3	
8	⌀125	т.чорнове т.п/чистове	6,3	
			12,5 6,3	
9	8	т.чорнове т.п/чистове	6,3	
			12,5 6,3	
10	⌀93	т.чорнове т.п/чистове	6,3	
			12,5 6,3	
11	25	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	6,3	
			12,5 6,3	
12	105	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	6,3	
			12,5 6,3	
13,19	⌀120	т.чорнове т.п/чистове	6,3	
			12,5 6,3	

14, 16, 18	R195	т.чорнове т.п/чистове	6,3 12,5 6,3	
15	25*	Підрізання торця чорнове Підрізання торця чистове	6,3 12,5 6,3	
17	130	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	6,3 12,5 6,3	14 14 14
20	10	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	6,3 12,5 6,3	14 14 14
21	⌀95k6	т.чорнове т.п/чистове т.чистове шліфування	2,5 12,5 6,3 3,2 2,5	6 14 14 7 k6 6
22	25*	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове Підрізання торця чистове шліфування	2,5 12,5 6,3 3,2 2,5	6 14 14 7 6
23	98	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове Підрізання торця чистове шліфування	2,5 12,5 6,3 3,2 2,5	6 14 14 7 6
24	⌀125	т.чорнове т.п/чистове	6,3 12,5 6,3	14 14 14
25	62	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	6,3 12,5 6,3	14 14 14
26	28	Підрізання торця чорнове	6,3 12,5	14 14

		Підрізання торця пів чистове	6,3	14
28	70	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове Підрізання торця чистове шліфування	2,5	6
			12,5 6,3 3,2 2,5	14 14 7 6
29	⌀92js6	т.чорнове т.п/чистове т.чистове шліфування	2,5	6
			12,5 6,3 3,2 2,5	14 14 7 6
30	115	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	6,3	14
			12,5 6,3	14 14
31	⌀70	т.чорнове т.п/чистове	6,3	14
			12,5 6,3	14 14
32	∅58 ⊳ 1:10	т.чорнове т.п/чистове т.чистове шліфування	2,5	6
			12,5 6,3 3,2 2,5	14 14 7 6
33	5	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	6,3	14
			12,5 6,3	14 14
34	M48x1.5	т.чорнове т.п/чистове	6,3	14
			12,5 6,3	14 14
36	1,6x45° 6 фасок	т.чорнове т.п/чистове	12,5	14
			12,5	14
37	2,5x45° 3 фаски	т.чорнове т.п/чистове	12,5	14
			12,5	14
38	⌀110k6	т.чорнове	1,25	6

		т.п/чистове т.чистове шліфування попереднє шліфування остаточне	12,5 6,3 3,2 2,5 1,25	14 14 7 6 k6 6
39	⌀93	т.чорнове т.п/чистове	6,3 12,5 6,3	14 14 14
40	m = 6 z = 1	т.чорнове т.п/чистове т.чистове шліфування	3,2 12,5 6,3 3,2	7 14 14 7
41	⌀95h6	т.чорнове т.п/чистове т.чистове шліфування	2,5 12,5 6,3 3,2 2,5	6 14 14 7 h6 6
42	100	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	6,3 12,5 6,3	14 14 14
43	⌀110k6	т.чорнове т.п/чистове т.чистове шліфування попереднє шліфування остаточне	1,25 12,5 6,3 3,2 2,5 1,25	6 14 14 7 6 k6 6
44	27	т.чорнове т.п/чистове	6,3 12,5 6,3	14 14 14
45	20H9	т.чорнове т.п/чистове фрезерування	6,3 12,5 6,3	14 14 14
46	12H9	т.чорнове т.п/чистове фрезерування	6,3 12,5 6,3	14 14 14
47,48,49,50		Фрезер. чорнове	6,3	14

	☐ 48х48	Фрезер. п/чистове	12,5 6,3	14 14
51,52,53,54	В=8	Фрезер. чорнове Фрезер. п/чистове	6,3	14
			12,5 6,3	14 14
55	Центровочні отвори В6,3 2шт	свердління	6,3	14
			12,5 6,3	14 14

2.3 Вибір та обґрунтування методу отримання заготовки

Правильний вибір заготовки визначає економічність технологічного процесу, трудомісткість механічної обробки та витрати матеріалу. Оскільки деталь «Черв'ячний вал» має виражену ступінчасту форму зі значними перепадами діаметрів (від ⌀60 мм до ⌀125 мм) і виготовляється в умовах серійного виробництва зі сталі 35ХМА, доцільно розглянути два варіанти отримання заготовки: гарячекатаний прокат та гаряче об'ємне штампування.

Для обґрунтування вибору складемо матрицю впливу факторів.

№ з/п	Фактори	Штамповка	Прокат
1	Форма деталі і розміри	+	-
2	Матеріал	+	+
3	Тип виробництва	-	+
4	Якість поверхні і точність заготовки	+	-
5	Економічна доцільність	-	+

Хоча штамповка дозволяє отримати заготовку, форма якої наближена до готової деталі (що економить метал), для серійного виробництва вартість виготовлення складних і габаритних штампів є економічно невиправданою.

Тому для даного типу виробництва як заготовку обираємо гарячекатаний прокат (круг звичайний) за ДСТУ 4738:2007.

Розрахунок розмірів заготовки та коефіцієнта використання матеріалу $К_{в.м.}$

Максимальний діаметр деталі за кресленням становить D_{max} =125 мм. З урахуванням припусків на чорнову обробку обираємо найближчий стандартний діаметр прокату $D_з$ =130 мм.

Довжина деталі за кресленням $L_з$ = 970мм. Додаємо припуски на підрізання торців $L_з$ = 975 мм

Маса заготовки $Q_з$ розраховується за формулою:

$$Q_з = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L_з \cdot \rho$$

де ρ – густина сталі 35ХМА (ρ = 7850 кг/м³ або 0,00000785 кг/мм³).

$Q_з = (3{,}14 \cdot 130^2 / 4) \cdot 975 \cdot 0{,}00000785 = 101{,}6$ кг.

Маса готової деталі згідно з основним написом креслення становить: qд = 51,3 кг.

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу:

$$\text{Кв.м} = \frac{q\text{д}}{Q\text{з Кв.м}} = \frac{51{,}3}{101{,}6} = 0{,}505$$

Отриманий коефіцієнт Кв.м ≈ 0,51 є цілком прийнятним для виготовлення складних ступінчастих валів із суцільного прокату.

2.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Аналіз технологічності конструкції деталі проводиться для оцінки зручності, економічності та продуктивності її виготовлення в заданих умовах серійного виробництва.

Оцінка технологічності деталі «Черв'ячний вал» складається з якісних та кількісних показників.

Якісна оцінка технологічності:

1. Базові поверхні: Деталь є тілом обертання (ступінчастим валом). На торцях деталі передбачені центрові отвори, що дозволяє надійно базувати вал у центрах під час виконання токарних та шліфувальних операцій, забезпечуючи принцип єдності та сталості баз.
2. Доступність для обробки: Перепади діаметрів розташовані логічно (від найбільшого діаметра 125 мм до найменших на кінцях), що забезпечує вільний підхід різального інструменту. Немає закритих або важкодоступних внутрішніх поверхонь.
3. Уніфікація та стандартизація: Конструкція містить значну кількість стандартизованих елементів. Метрична різьба M48x1,5, шпонкові пази (шириною 12 мм та 20 мм), а також фаски і радіуси заокруглень відповідають чинним стандартам. Це дозволяє використовувати стандартний різальний (прохідні, канавкові, різьбові різці, фрези) та вимірювальний інструмент.
4. Технологічні бази: Для вільного виходу шліфувального круга та різьбового різця в конструкції завбачливо спроєктовані технологічні канавки.
5. Жорсткість конструкції: Відношення загальної довжини вала (L = 970 мм) до його найбільшого діаметра (D = 125 мм) становить L/D = 7,76. Оскільки це значення менше 10-12, вал вважається достатньо жорстким. Його механічну обробку можна виконувати без застосування додаткових підтримуючих пристроїв (люнетів), використовуючи лише підтискання заднім центром.
6. Оброблюваність матеріалу: Сталь 35ХМА добре піддається механічній обробці різанням у стані поставки (після нормалізації) та забезпечує високу зносостійкість робочих поверхонь черв'яка після термообробки (HRC 50...54).

Кількісна оцінка технологічності:

Основним кількісним показником технологічності заготовки є розрахований раніше коефіцієнт використання матеріалу.

Для нашої деталі Кв.м = 0,505. Для серійного типу виробництва та складної форми глобоїдного черв'ячного вала такий показник є нормативним та економічно обґрунтованим. Використання штамповки для підвищення цього коефіцієнта призвело б до невиправданих витрат на оснащення.

2.5Технічний контроль робочого креслення

Аналіз робочого креслення деталі «Черв’ячний вал» показав, що воно виконане згідно з вимогами та нормами діючих стандартів ЄСКД.

Представлені на кресленні види, розрізи та перерізи дають повне та однозначне уявлення про просторову форму деталі та її конструктивні особливості.

Кількість розмірів є достатньою для виготовлення деталі та контролю її параметрів.

На всі відповідальні поверхні (посадкові місця під підшипники, шпонкові пази, різьбу) проставлені відповідні допуски та посадки. Вимоги до шорсткості поверхонь вказані з урахуванням службового призначення кожної поверхні та відповідають умовам експлуатації вала.

У технічних вимогах до креслення наведені вказівки щодо термічної обробки (вказана необхідна твердість HRC для робочих поверхонь), а також загальні допуски форми та розташування поверхонь. Вибраний матеріал заготовки вказаний у штампі.

2.6 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання

З урахуванням кількості і змісту раніше передбачених технологічних методів обробки поверхонь, оберемо типи металорізального обладнання та інструментів.

Операції шліфування виконуємо на важкому круглошліфувальний верстат з ЧПУ з нерухомим столом Supertec G38TH-100CNC.

Рисунок 2.1 - Важкомий круглошліфувальний верстат з ЧПУ з нерухомим столом Supertec G38TH-100CNC

Технічні характеристики верстата

Макс. діаметр шліфування (мм): 300
Макс. довжина шліфування (мм): 1000
Макс. діаметр заготовки (мм): 380
Макс. маса заготовки в центрах (кг): 190

Шліфувальний круг

Діаметр х ширина х отвір (мм): Ø510 х 50 х Ø152,5
Макс. частота обертання (об/хв): 1250
Макс. колова швидкість (м/сек): 33

Шліфувальна бабка

Вісь X: кут між поперечними та поздовжніми напрямними: 90º
Вісь X: макс. приріст швидкості (м/хв): 6
Вісь X: переміщення при врізній подачі (мм): 0,0001
Вісь X: мін. приріст врізної подачі (мм): 225
Вісь Z: швидка подача (мм/об): 0 - 150
Вісь Z: мін. переміщення подачі (мм): 0,0001

Бабка деталі

Частота обертання (об/хв): 50 - 350
Конус бабки деталі: MT4
Переміщення пінолі (мм): 25
Конус задньої бабки: MT4

Потужність

Привід шліфувального круга (кВт): 5,5
Привід бабки деталі (кВт): 1,2
Привід насоса гідростанції (кВт): 0,75

Привід насоса подачі СОЖ (кВт): 0,18
Привід по осі X (кВт): 1,2
Привід по осі Z (кВт): 1,2

Габаритні розміри

Розміри в упаковці (ДхШхВ) мм: 5280 х 2280 х 2250

Операції фрезерування та свердління виконуємо на Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК HAAS VR-8

Рисунок 2.2 - Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК HAAS VR-8

Технічні характеристики верстата

РОБОЧИЙ СТІЛ:
Поверхня столу X × Y: 914 × 1626 мм
Розмір Т-подібних пазів: 15,9 мм × 16
Максимальна вага деталі, що встановлюється: 1814 кг
РОБОЧІ ПЕРЕМІЩЕННЯ:
Переміщення по осі X: 1626 мм
Переміщення по осі Y: 1016 мм
Переміщення по осі Z: 1016 мм
ШПИНДЕЛЬ:
Конус шпинделя / опціонально: HSK-A63
Максимальна швидкість обертання шпинделя: 20000 об/хв
Тип приводу: Вбудований двигун
Потужність двигуна шпинделя: 18,0 кВт
Максимальний момент, що крутить /при 12000 об/хв/: 14,3 Нм
ШВИДКІСТЬ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ОСЕЙ:
Прискорені переміщення осі X: 15,2 м/хв
Прискорені переміщення осями Y, Z: 15,2 м/хв
Максимальна швидкість подачі при різанні: 12,7 м/хв
МАГАЗИН ІНСТРУМЕНТІВ:
Кількість інструментів у магазині: 30+1 / 50+1
Метод вибору інструменту: довільний
Максимальний діаметр інструменту: 64 мм

Максимальний діаметр інструменту з вільними сусідніми карманами: 127 мм
Максимальна вага інструменту: 5,4 кг
Час зміни інструменту (середнє): 2,8 сек
Час від стружки до стружки (середнє): 6,2 сек

Операції фрезерування та свердління виконуємо на токарному верстаті по металу з ЧПК Оптимум L520

Рисунок 2.3 – Токарний верстат по металу з ЧПК Оптимум L520

Геометричні параметри

Електрообладнання:
- Загальна споживана потужність: 30 кВт 380 В – 50 Гц
- Привід шпинделя: 17 кВт

Насос подачі СОЖ: 450 Вт
Ємність бака ЗОР: 260 літрів
Гідросистема:
- Потужність насоса: 750 Вт
- Ємність бака: 50 літрів

Верстатні дані:
- Міжцентрова відстань: 3000 мм
- Максимальна висота центрів: 275 мм
- Діаметр обробки над станіною: 550 мм
- Діаметр обробки над супортом: 300 мм
- В обробці над виносною станіною: 790 мм
- Максимальна маса заготовки (з задньою бабкою): 2000 кг
- Ширина станіни: 405 мм

Шпиндель:
- Частота обертів: 30 – 3500 об/хв

- Фланець шпинделя: Camlock D1-8”
- Прохідний отвір шпинделя: 82 мм
- Гідравлічний токарний патрон: 250 мм
- Прохідний отвір токарного патрона: 60 мм

Змінні інструменти:

- Тип зміни інструменту: гідравлічний VDI 40
- Кількість інструменту: 8
- Максимальний розмір державки різця: 25×25 мм
- Максимальний діаметр осьового інструменту: 32 мм

Точність:

- Точність: ± 0,005 мм
- Повторюваність: ± 0,005 мм

Ось X:

- Переміщення: 345 мм
- Швидкість робочої подачі: 15 000 мм/хв

Ось Z:

- Переміщення: 3150 мм
- Швидкість робочої подачі: 15 000 мм/хв

Задня бабка:

- Конус пінолі задньої бабки: MK5
- Хід пінолі задньої бабки: 150 мм
- Переміщення задньої бабки: 1810 мм

Габаритні розміри:

- Довжина: 5100 мм
- Ширина: 2245 мм
- Висота: 2005 мм

Таблиця 2.4 – Вибір металорізальних верстатів та інструментів по обробці поверхонь деталі

№з/п	Найменування операції	Тип верстата
1	2	3
1, 35	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	Оптимум L520
2	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520

3	Підрізання торця чорнове Підрізання торця чистове Підрізання торця чистове шліфування	Оптимум L520 Supertec G38TH-100CNC
4	т.чорнове т.п/чистове т.чистове шліфування	Оптимум L520 Supertec G38TH-100CNC
5	Підрізання торця чорнове Підрізання торця чистове	Оптимум L520
6, 27	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520
7	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520
8	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520
9	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520
10	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520
11	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	Оптимум L520

12	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	Оптимум L520
13,19	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520
14, 16, 18	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520
15	Підрізання торця чорнове Підрізання торця чистове	Оптимум L520
17	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	Оптимум L520
20	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	Оптимум L520
21	т.чорнове т.п/чистове т.чистове шліфування	Оптимум L520 Supertec G38TH-100CNC
22	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове Підрізання торця чистове шліфування	Оптимум L520 Supertec G38TH-100CNC

23	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове Підрізання торця чистове шліфування	Оптимум L520 Supertec G38TH-100CNC
24	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520
25	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	Оптимум L520
26	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	Оптимум L520
28	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове Підрізання торця чистове шліфування	Оптимум L520
29	т.чорнове т.п/чистове т.чистове шліфування	Оптимум L520 Supertec G38TH-100CNC
30	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	Оптимум L520

31	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520
32	т.чорнове т.п/чистове т.чистове шліфування	Оптимум L520 Supertec G38TH-100CNC
33	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	Оптимум L520
34	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520
36	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520
37	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520
38	т.чорнове т.п/чистове т.чистове шліфування попереднє шліфування остаточне	Оптимум L520 Supertec G38TH-100CNC
39	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520
40	Нарізання глобоїдного червяка	Оптимум L520

41	т.чорнове т.п/чистове т.чистове шліфування	Оптимум L520
42	Підрізання торця чорнове Підрізання торця пів чистове	Оптимум L520
43	т.чорнове т.п/чистове т.чистове шліфування попереднє шліфування остаточне	Оптимум L520 Supertec G38TH-100CNC
44	т.чорнове т.п/чистове	Оптимум L520
45	т.чорнове т.п/чистове фрезерування	HAAS VR-8
46	т.чорнове т.п/чистове фрезерування	HAAS VR-8
47,48,49,50	Фрезер. чорнове Фрезер. п/чистове	HAAS VR-8
51,52,53,54	Фрезер. чорнове Фрезер. п/чистове	HAAS VR-8
55	Свердління	HAAS VR-8

2.6 Характеристика верстатного оснащення

Для забезпечення надійного базування, жорсткого закріплення заготовки та досягнення заданої точності обробки під час виконання технологічних операцій, передбачено використання стандартного та спеціального верстатного оснащення. Вибір оснащення обумовлений габаритами деталі «Черв'ячний вал» (загальна довжина 970 мм, максимальний діаметр 125 мм) та технічними характеристиками обраних верстатів з ЧПК.

1. Оснащення для токарних операцій (верстат Оптимум L520)

Оскільки відношення довжини вала до його діаметра є значним, обробка консольно є неможливою. Для встановлення деталі використовується схема базування «в патроні з підтисканням заднім центром».

Патрон: Використовується стандартний трикулачковий гідравлічний патрон діаметром 250 мм, що йде в базовій комплектації верстата. Гідравлічний затиск забезпечує швидке та надійне закріплення заготовки із стабільним зусиллям, що важливо для умов серійного виробництва.

Центр: У піноль задньої бабки (конус Морзе МК5) встановлюється посилений обертовий центр. Він сприймає радіальні та осьові сили різання під час чорнового і чистового точіння, а також під час нарізання витків глобоїдного черв'яка, запобігаючи прогину довгого вала.

2. Оснащення для фрезерних операцій (верстат HAAS VR-8)

На цій операції виконується фрезерування шпонкових пазів та приводного квадрата на торці.

Базування та закріплення: Для встановлення довгомірної циліндричної деталі на плоскому столі фрезерного центру використовуються дві прецизійні чавунні призми (V-подібні блоки) та набір стандартизованих механічних прихватів зі шпильками та гайками, які фіксуються у Т-подібних пазах столу верстата. Це забезпечує надійне базування вала по зовнішній циліндричній поверхні та запобігає його зміщенню під дією сил фрезерування.

3. Оснащення для шліфувальних операцій (верстат Supertec G38TH-100CNC) Шліфування посадкових шийок під підшипники вимагає максимальної співвісності, тому обробка ведеться виключно в центрах.

Центри: Використовуються два твердосплавні нерухомі (наполегливі) центри з конусом Морзе МК4 (згідно з паспортом передньої та задньої бабок верстата). Нерухомі центри виключають похибку від биття підшипників, яка притаманна обертовим центрам, і гарантують високу точність.

Привід: Обертання від шпинделя бабки виробу передається на деталь за допомогою універсального повідкового хомута, який закріплюється на лівому кінці вала. Для змащування центрових отворів під час обробки застосовується спеціальна антифрикційна змазка.

3 ВИБІР РІЖУЧИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ

3.1 Вибір різального та вимірювального інструменту

З урахуванням кількості і змісту раніше передбачених технологічних методів обробки поверхонь, обираємо сучасні типи інструментів, що запропоновані вітчизняними та іноземнеми виробниками. До кожної поверхні деталі підбираємо та обгрунтовуємо тип інструменту та представляємо його ескіз. Дані занесені в таблицю 3.1

Табліця 3.1 – Вибір типів інструментів по обробці поверхонь деталі

№з/п поверхні	Найменування операції	Тип Інструмента
1	2	3
1, 3, 5, 11, 12, 15, 17, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 30, 33, 35, 42, 44	Чорнове підрізання торця	Підрізний різець
1, 3, 5, 11, 12, 15, 17, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 30, 33, 35, 42, 44	Пів чистове підрізання торця	Підрізний різець
3,22,23,28	Чистове підрізання торця	Підрізний різець
2, 4, 6, 8, 10, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 24, 27, 29, 31, 32, 34, 37, 38, 39, 41, 43	Чорнове точіння	Прохідний різець
2, 4, 6, 8, 10, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 24, 27, 29, 31, 32, 34, 37, 38, 39, 41, 43	Пів чистове точіння	Прохідний різець
4, 21, 29, 38, 41, 43	Чистове точіння	Прохідний різець
14, 16, 18	Чистове точіння	Прохідний різець
6,27,34	Нарізування різьби	Різьбовий різець
7,9	Обробка канавок Чорнова, пів чистова	Канавочний різець
40	Нарізання глобоїдного червяка	Канавочний різець
45	Чорнове, пів чистове фрезерування	Фреза

4, 21, 29, 32, 38, 41, 43	Попереднє шліфування	Шліфувальний круг
43,38	Чистове шліфування	Шліфувалиний круг
51,52,53,54	Чорнове, пів чистове фрезерування	Фреза
47,48,49,50	Чорнове, пів чистове фрезерування	Фреза
46	Чорнове, пів чистове фрезерування	Фреза
55	Сверління	Центрове свердло

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

Дані занесено в таблицю 3.2

1) Позиції 1, 3, 5, 11, 12, 15, 17, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 30, 33, 35, 42, 44 - Чорнове підрізання торця

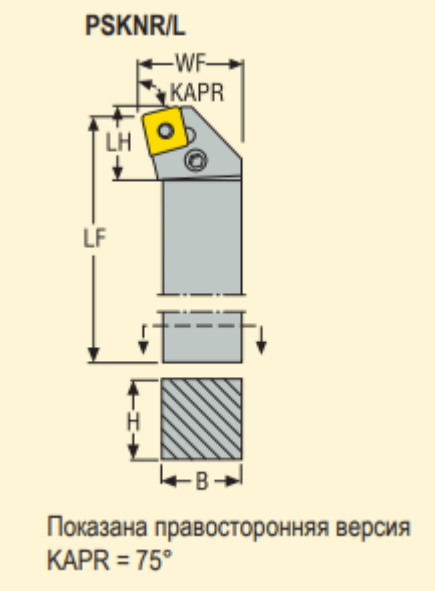


Рисунок 3.1 – Державка - PSKNR2525M12 [1, с. 248]

Геометричні параметри: H=25мм, B=25мм, LF=150мм, WF=32мм, LH=23мм

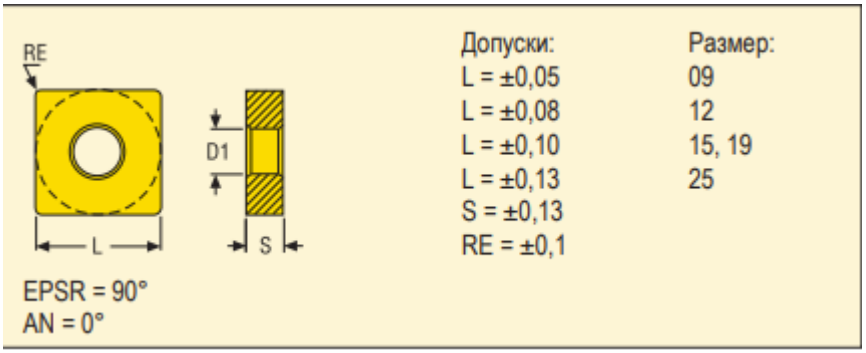


Рисунок 3.2 – Пластина - SNMG120412-M5 [1, с. 451]

Параметри пластини: L=12,7мм, S=4,76мм, D1=5,15мм, Покриття-TP1501

2) Позиції 1, 3, 5, 11, 12, 15, 17, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 30, 33, 35, 42, 44 - Пів чистове підрізання торця

Обираємо державку PSKNR2525M12 (Рисунок 3.1)

Обираємо пластину SNMG120408-MF2, з покриттям TP2501 (Рисунок 3.2)

3) Позиції 3,22,23,28 – Чистове підрізання торця

Обираємо державку PSKNR2525M12 (Рисунок 3.1)

Обираємо пластину SNMG120408-MF2, з покриттям TP2501 (Рисунок 3.2)

4) Позиції 2, 4, 6, 8, 10, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 24, 27, 29, 31, 32, 34, 37, 38, 39, 41, 43 – Чорнове точіння

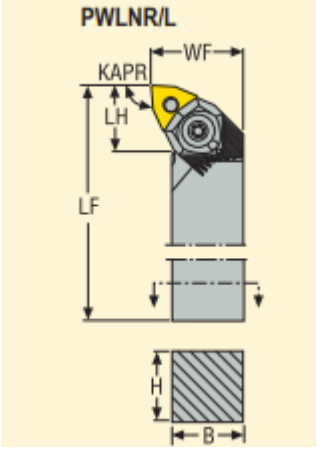


Рисунок 3.3 – Державка - PWLNR2525M06 [1, с. 254]

Геометричні параметри: H=25мм, B=25мм, LF=150мм, WF=32мм, LH=21мм.

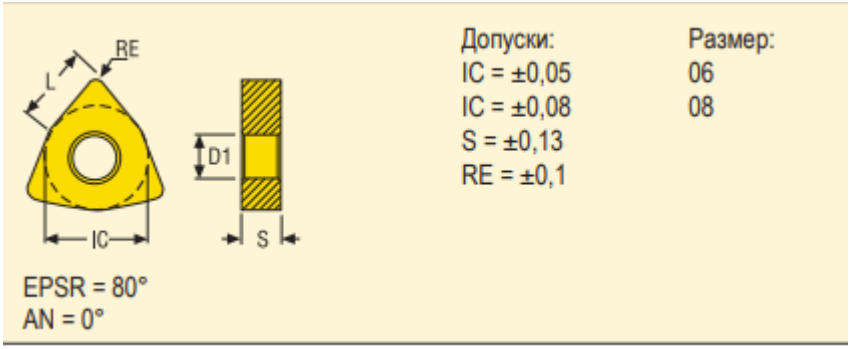


Рисунок 3.4– Пластина - WNMG060408-M5 [1, с. 477]

Параметри пластини: IC=9,53мм, L=6,5мм, S=4,76мм, D1= 3,81мм, Покриття TP1501

5) Позиції 2, 4, 6, 8, 10, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 24, 27, 29, 31, 32, 34, 37, 38, 39, 41, 43 – Пів чистове точіння

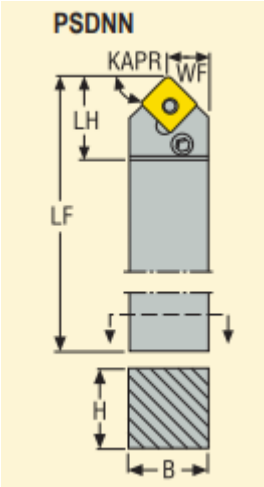


Рисунок 3.5– Державка - PSDNN2525M12 [1, с. 248]

Геометричні параметри: H=25мм, B=25мм, LF=150мм, WF=12,5мм, LH=28мм.

Обираємо пластину SNMG120408-MF2, з покриттям TP2501 (Рисунок 3.2)

6) Позиції 4, 21, 29, 38, 41, 43 – Чистове точіння

Обираємо державку PSDNN2020K12 (Рисунок 3.5)

Обираємо пластину SNMG120408-MF2, з покриттям TP2501 (Рисунок 3.2)

7) Позиції 14, 16, 18 – Контурне точіння

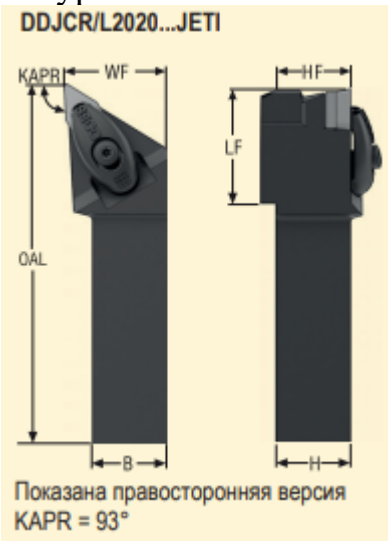


Рисунок 3.6 – Державка DDJCR2525X11JETI [1, с. 208]

Геометричні параметри: H=25мм, B=25мм, LF=33мм, WF=32,2мм, HF=25мм, OAL=117мм.

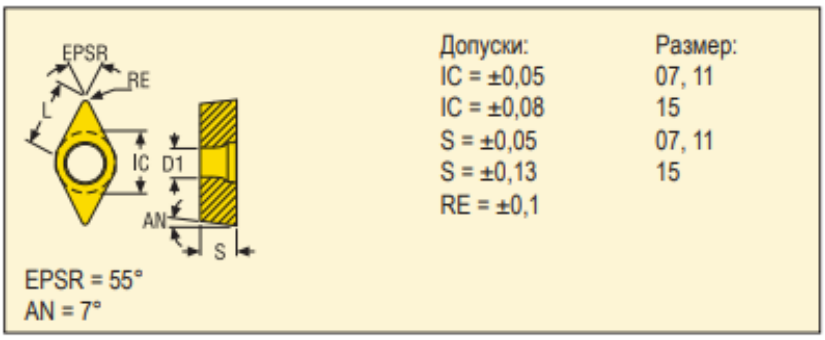


Рисунок 3.7 – Пластина - DCMT11T308-MF2 [1, с. 407]

Параметри пластини: IC=9,53мм, L=11,6мм, S=3,97мм, D1= 4,5мм, Покриття TP2501

8) Позиція 6,27,34 – Нарізування різьби

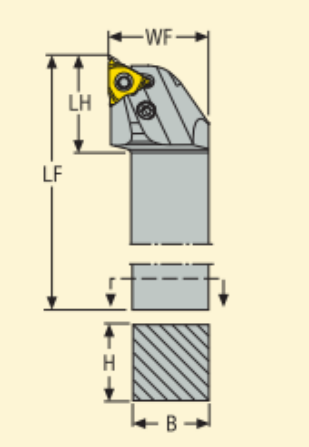


Рисунок 3.8– Державка PER2525X16QHDJETI [2, с. 46]

Геометричні параметри: H=25мм, B=25мм, LF=111мм, WF=32мм, LH=30мм,

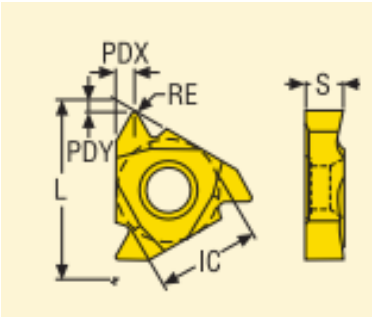


Рисунок 3.9 – Пластина - 16ERAG55 [2, с. 91]

Параметри пластини: Крок-0,5-3,0, Витків-48-8, PDY-1,1мм, PDX=1,5мм, RE=0,08, Покриття CP500

9) Позиції 7,9 – Обробка канавок чорнова

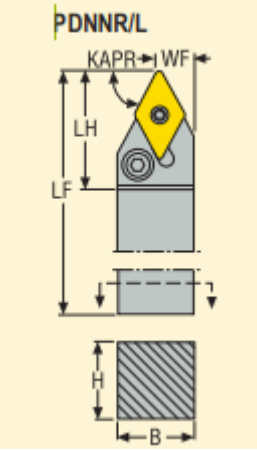


Рисунок 3.10 – Державка PDNNR2525M11 [1, с. 245]

Геометричні параметри: H=25мм, B=25мм, LF=150мм, WF=12,5мм, LH=30мм,

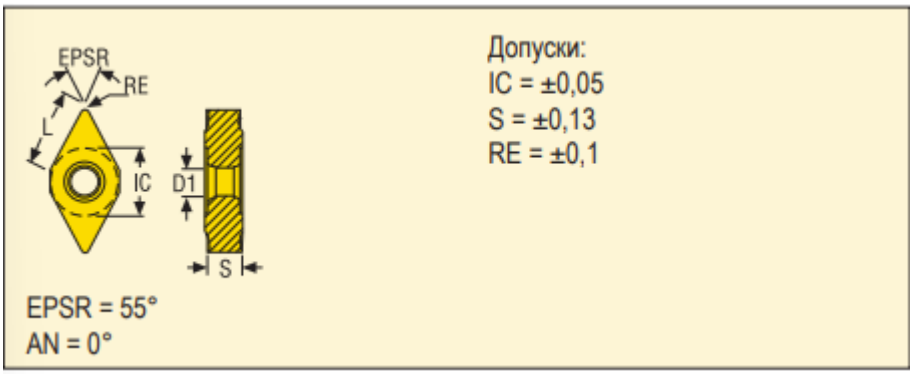


Рисунок 3.11– Пластина - DNMU110408-M5 [1, с. 440]

Параметри пластини: IC=9,53мм, L=11,6мм, S=4,76мм, D1= 3,81мм, Покриття TP1501

10) Позиції 7,9 – Півчистове точіння

Обираємо державку PDNNR2525M11 (Рисунок 3.10)

Обираємо пластину DNMU110408-MF2, з покриттям TP2501 (Рисунок 3.11)

11) Позиції 34 – Нарізування різьби

Обираємо державку PER2525X16QHDJETI (Рисунок 3.8)

Обираємо пластину 16ERA55, з покриттям CP500 та параметрами пластини Крок-0,5-1,5, Витків-48-16, PDY-0,6мм, PDX=0,8мм, RE=0,08 (Рисунок 3.9)

12) Позиція 45 - Чорнове фрезерування

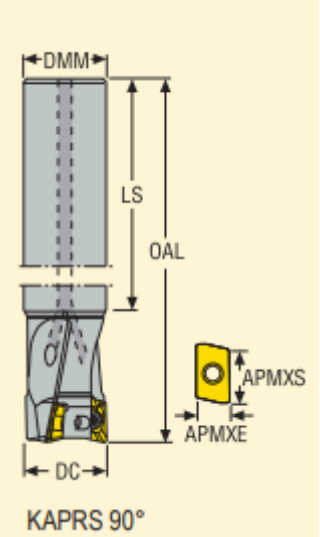


Рисунок 3.12 – фреза R217.69-1820.0-12-2AN [3, с. 33]

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

Рисунок 3.13– Пластина - XOEX120416R-M07 [3, с. 663]

Параметри пластини - W1=8,2мм,S=5,03мм, LE=12мм, BS=1,2мм, RE=1,6 Перед.Кут = 19,1 °, покриття MP3000

13) Позиції 45 – Півчистове фрезерування

Обираємо Фрезу R217.69-1820.0-12-2AN (Рисунок 3.12)

Обираємо пластину XOEX120416R-M07, з покриттям F40M (Рисунок 3.13)
14) Позиції 4, 21, 29, 32, 38, 41, 43 – Попереднє шліфування

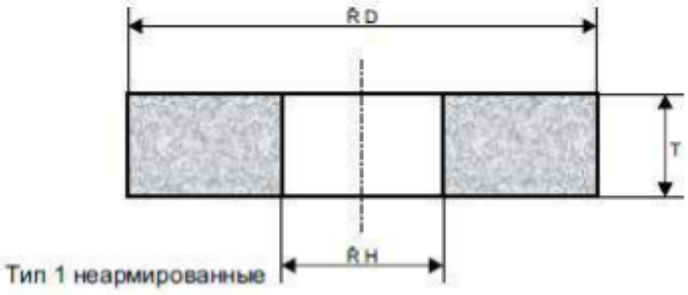


Рисунок 3.14 – Шліфувальний круг - 1-125x30x20-95A60G5BF569F-50 [5, с.52]

1 – тип 1: прямий шліфувальний круг

510 x 50 x 152,5– геометричні параметри:
• 510 мм – зовнішній діаметр
• 50 мм – товщина круга
• 152,5 мм – діаметр посадкового отвору

99A – абразивний матеріал: електрокорунд підвищеної чистоти (білий), для легованих сталей

100 – зернистість: дрібне зерно (F100), для чистової обробки

J – твердість зв'язки: м'яка, забезпечує самозаточування

5B – структура круга: відкрита структура (5), бакелітова зв'язка (B)

569F – умовне технологічне позначення виробника

50 – максимальна швидкість: 50 м/с
15) Позиції 38,43 – Чистове шліфування

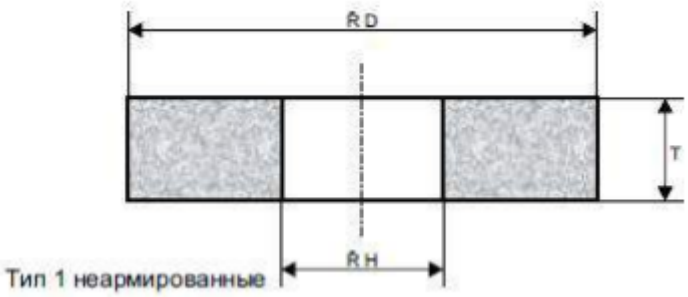


Рисунок 3.15 – Шліфувальний круг - 1-125x30x20-99A100J5B569F-50[5, с.52]

1 – тип 1: прямий шліфувальний круг
510 x 50 x 152,5– геометричні параметри:
510 мм – зовнішній діаметр
50 мм – товщина круга
152,5 мм – діаметр посадкового отвору
99A – абразивний матеріал: електрокорунд підвищеної чистоти (білий), для легованих сталей
100 – зернистість: дрібне зерно (F100), для чистової обробки
J – твердість зв'язки: м'яка, забезпечує самозаточування
5B – структура круга: відкрита структура (5), бакелітова зв'язка (B)
569F – умовне технологічне позначення виробника
50 – максимальна швидкість: 50 м/с

16) Позиції 51,52,53,54 – Чорнове фрезерування

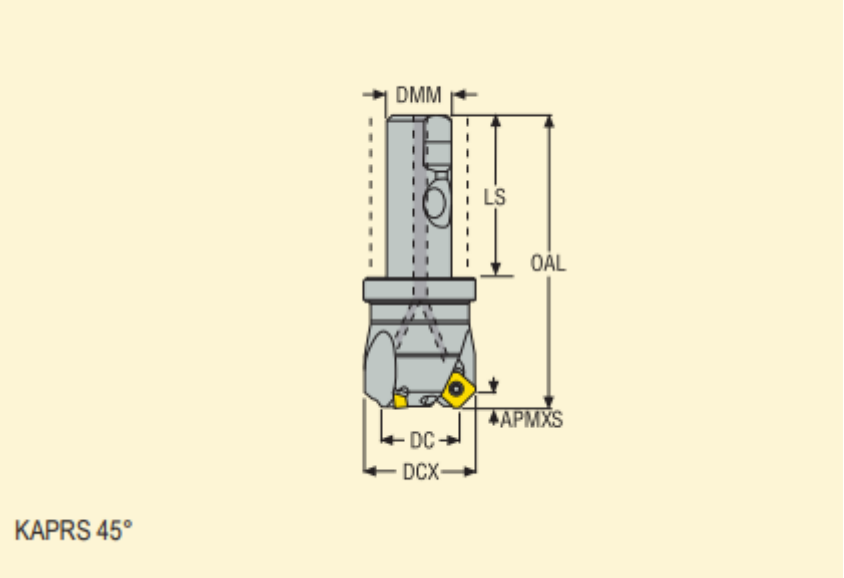


Рисунок 3.16 – Фреза R217.53-2020.3S-09-2A [3, с. 135]

Геометричні параметри: APMXS=4,5мм, DC=20мм, DCX=30мм, DMM=20мм, OAL=90мм, LS=50мм.

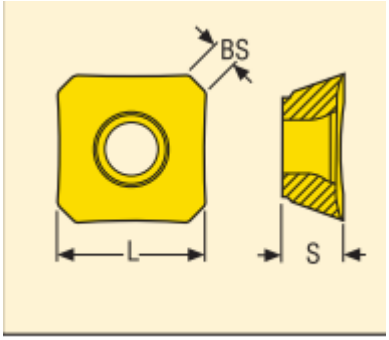


Рисунок 3.17 – Пластина - SEEX09T3AFN-E04 [3, с. 641]

Параметри пластини - S=3,97мм, L=9,52мм, BS=1,5мм, Перед.Кут = 25 °, покриття MP3000

17) Позиції 51,52,53,54 – Півчистове фрезерування

Обираємо Фрезу R217.53-2020.3S-09-2A (Рисунок 3.16)

Обираємо пластину SEEX09T3AFN-E04, з покриттям F40M (Рисунок 3.17)

18) Позиції 47,48,49,50– Чорнове фрезерування

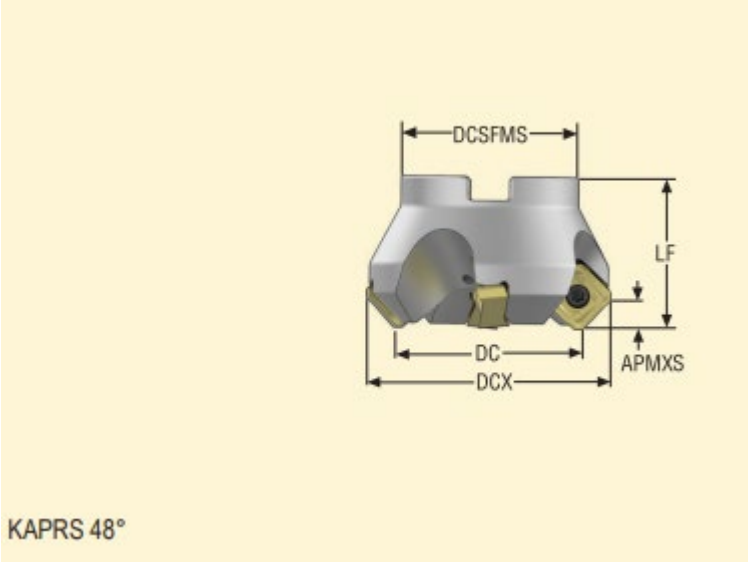


Рисунок 3.18 – Фреза - R220.54-0050-14-4A [3, с. 121]

Геометричні параметри: APMXS=6мм, DC=50мм, DCX=65мм, DCSFMS=47мм, DCB=22мм, LF=40мм.

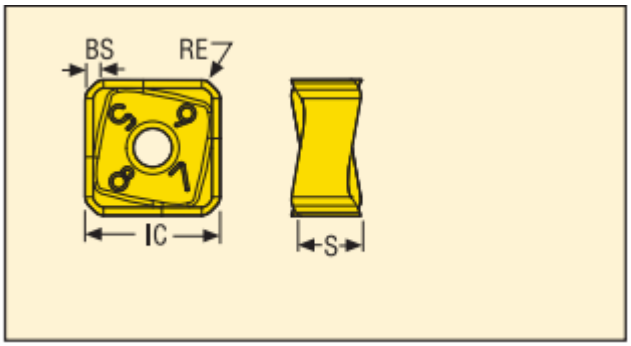


Рисунок 3.19 – Пластина - SNHX1407ANR-ME10 [3, с. 653]

Параметри пластини – IC=14мм, S=6,59мм, RE=1, BS=1,5мм, Перед.Кут = 20 °, покриття MP3000

19) Позиції 51,52,53,54 – Півчистове фрезерування

Обираємо Фрезу R220.54-0050-14-4A (Рисунок 3.18)

Обираємо пластину SNHX1407ANR-ME10 з покриттям F40M (Рисунок 3.19)

20) Позиція 46– Чорнове фрезерування

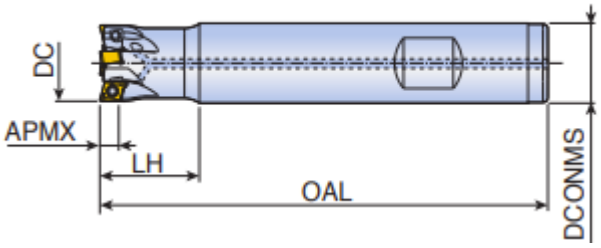


Рисунок 3.20 – Фреза - 4N TE90-212-12-04 [4, с. 142]

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

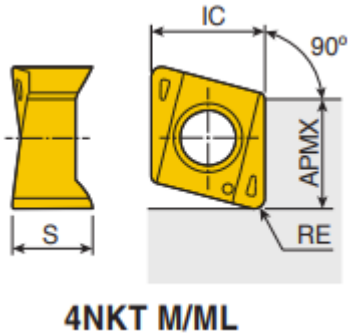


Рисунок 3.21 – Пластина - 4NKT040204R-M [4, с. 252]

Параметри пластини – IC=4мм, S=3,1мм, RE=0,2, APMX=3,5 покриття TT8080

21) Позиція 46– Півчистове фрезерування

Обираємо Фрезу 4N TE90-212-12-04 (Рисунок 3.20)

Обираємо пластину 4NKT040204R-M з покриттям TT9080 (Рисунок 3.21)

22) Позиція 40 - Нарізування глобоїдного черв'яка

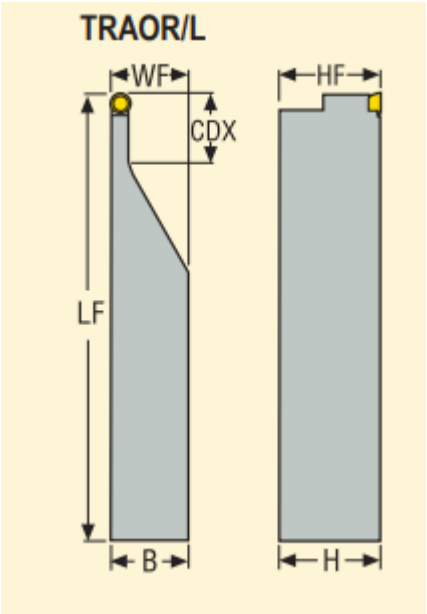


Рисунок 3.22 – Державка TRAOR3225-4.76 [1, с. 296]

Геометричні параметри : H=32мм, B=25мм, LF=201мм, WF=25,4мм, HF32мм,

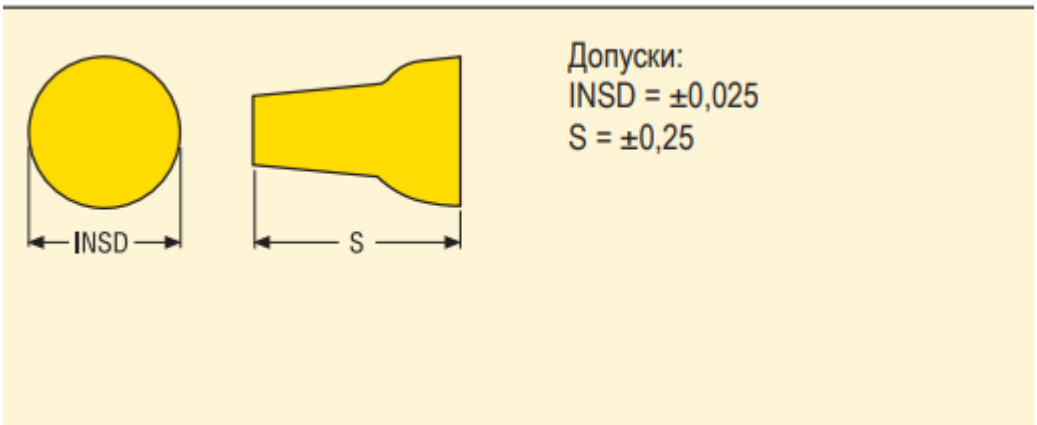


Рисунок 3.23 – Пластина RCGS4.76-46 [1, с. 444]

Геометричні параметри: INSD=4,76мм, S=6,35мм
Чорнове точіння

Обираємо державку TRAOR3225-4.76 (Рисунок 3.25)
Обираємо пластину RCGS4.76-46, з твердого сплаву 890 (Рисунок 3.25)
Півчистове точіння
Обираємо державку TRAOR3225-4.76 (Рисунок 3.25)
Обираємо пластину RCGS4.76-46, з покриттям CP200 (Рисунок 3.25)

23) Позиція 55 – сверління

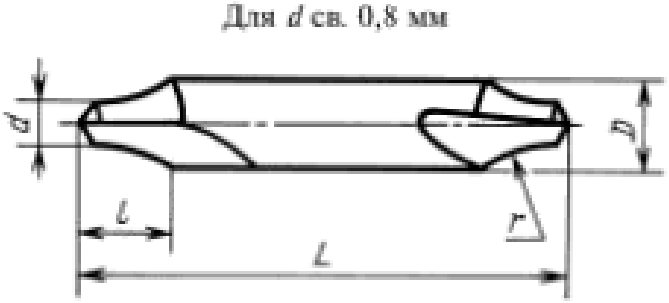


Рисунок 3.24 – Центровочне свердло 2317-0133 [8, с.2]

Геометричні параметри: D=6,3 мм, d=2,5мм, L=47мм, l=6,7мм, r=-1,7

Таблиця 3.2 – Вибір параметрів різальної частини інструментів

№з/п поверхні	Тип інструменту	Матеріал різальної частини інструменту	Матеріал державки (корпуса, хвостовика) інструменту	Геометричні параметри різальної частини інстумента
1	2	3	4	5
1, 3, 5, 11, 12, 15, 17, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 30, 33, 35, 42, 44	Підрізний різець	Чорнове - Покриття- TP1501	40Х	ε=90°
1, 3, 5, 11, 12, 15, 17, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 30, 33, 35, 42, 44	Підрізний різець	П/Ч - Покриття- TP2501	40Х	ε=90°
3,22,23,28	Підрізний різець	Чистове - Покриття- TP2501	40Х	ε=90°
2, 4, 6, 8, 10, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 24, 27,	Прохідний різець	Чорнове - Покриття- TP1501	40Х	ε=80°

29, 31, 32, 34, 37, 38, 39, 41, 43				
2, 4, 6, 8, 10, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 24, 27, 29, 31, 32, 34, 37, 38, 39, 41, 43	Прохідний різець	П/Ч - Покриття- TP2501	40Х	ε=90°
4, 21, 29, 38, 41, 43	Прохідний різець	Чистове - Покриття- TP2501	40Х	ε=90°
14, 16, 18	Прохідний різець	Покриття- TP2501	40Х	ε=93°
6,27,34	Різьбовий різець	Покриття CP500	40Х	ε=60°
7,9	Канавочний різець	Чорнове- TP1501 П/Ч - TP2501	40Х	ε=55°
40	Канавочний різець	Чорнова – твердий сплав 890 П/Ч – CP200	40Х	ε=90°
45	Фреза	Чорнова - покриття MP3000 П/Ч - F40M	40Х	ε=90°
4, 21, 29, 32, 38, 41, 43	Шліфувальний круг	99А- електрокорунд білий	-	-
43,38	Шліфувалиний круг	99А- електрокорунд білий	-	-
51,52,53,54	Фреза	Чорнова - покриття MP3000 П/Ч - F40M	40Х	ε=45°
47,48,49,50	Фреза	Чорнова - покриття MP3000 П/Ч - F40M	40Х	ε=48°
46	Фреза	Чорнова - покриття MP3000	40Х	ε=90°

		П/Ч - F40M		
55	Центрове свердло	Р6М5	Р6М5	ε=90°

3.2 Вибір типорозміру різальних інструментів

З урахуванням виду обробки, типу інструмента, параметрів різальної частини і габаритів, визначених за умовою міцності, призначаються типорозміри металорізальних інструментів, які виготовлені вітчизняними та іноземними виробниками. Приводимо ескіз вибраного ріжучого інструменту відповідно до оброблюваної поверхні.

Дані занесено в таблицю 3.3

Таблиця 3.3 - Вибір типорозміру різальних інструментів

№з/п поверхні	Тип інструменту	Основні розміри інструменту, пластини	Матеріал різальної частини інструмент у	Шифр інструменту (державки, пластини) за міжнародними стандартами
1	2	3	4	5
1, 3, 5, 11, 12, 15, 17, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 30, 33, 35, 42, 44	Підрізний різець	Державка - H=25мм, B=25мм, LF=150мм, WF=32мм, LH=23мм. Пластина - L=12,7мм, S=4,76мм, D1=5,15мм	Чорнове - Покриття- TP1501	Державка - PSKNR2525K12 Пластина - SNMG120412-M5
1, 3, 5, 11, 12, 15, 17, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 30, 33, 35, 42, 44	Підрізний різець	Державка - H=25мм, B=25мм, LF=150мм, WF=32мм, LH=23мм. Пластина - L=12,7мм, S=4,76мм, D1=5,15мм	П/Ч - Покриття- TP2501	Державка - PSKNR2525K12 Пластина - SNMG120412-M5
3,22,23,28	Підрізний різець	Державка - H=25мм, B=25мм, LF=150мм,	Чистове - Покриття- TP2501	Державка - PSKNR2525K12 Пластина - SNMG120412-M5

		WF=32мм, LH=23мм. Пластина - L=12,7мм, S=4,76мм, D1=5,15мм		
2, 4, 6, 8, 10, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 24, 27, 29, 31, 32, 34, 37, 38, 39, 41, 43	Прохідний різець	Державка - H=25мм, B=25мм, LF=150мм, WF=32мм, LH=21мм. Пластина - IC=9,53мм, L=6,5мм, S=4,76мм, D1= 3,81мм	Чорнове - Покриття- TP1501	Державка - PWLNR2525M06 Пластина - WNMG060408-M5
2, 4, 6, 8, 10, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 24, 27, 29, 31, 32, 34, 37, 38, 39, 41, 43	Прохідний різець	Державка - H=25мм, B=25мм, LF=150мм, WF=12,5мм, LH=28мм. Пластина - L=12,7мм, S=4,76мм, D1=5,15мм	П/Ч - Покриття- TP2501	Державка - PSDNN2525K12 Пластина SNMG120408-MF2
4, 21, 29, 38, 41, 43	Прохідний різець	Державка - H=25мм, B=25мм, LF=150мм, WF=12,5мм, LH=28мм. Пластина - L=12,7мм, S=4,76мм, D1=5,15мм	П/Ч - Покриття- TP2501	Державка - PSDNN2525K12 Пластина SNMG120408-MF2
14, 16, 18	Прохідний різець	Державка - H=25мм, B=25мм, LF=33мм, WF=32,2мм, HF=25мм, OAL=117мм. Пластина - IC=9,53мм,	Покриття- TP2501	Державка DDJCR2525X11JE T Пластина - DCMT11T308-MF2

		L=11,6мм, S=3,97мм, D1= 4,5мм		
6,27,34	Різьбовий різець	Державка - H=25мм, B=25мм, LF=111мм, WF=32мм, LH=30мм Пластина - Крок-0,5-3,0, Витків-48-8, PDY-1,1мм, PDX=1,5мм, RE=0,08	Покриття CP500	Державка PER2525X16QHDJETI Пластина - 16ERAG55
7,9	Канавочний різець	Державка - H=25мм, B=25мм, LF=150мм, WF=12,5мм, LH=30мм Пластина - IC=9,53мм, L=11,6мм, S=4,76мм, D1= 3,81мм	Чорнове-TP1501 П/Ч - TP2501	Державка PDNNR2525M11 Пластина - DNMU110408-M5
40	Канавочний різець	Державка - H=32мм, B25мм, LF=201мм, WF=25,4мм, HF32мм Пластина - INSD=4,76мм, S=6,35мм	Чорнова – твердий сплав 890 П/Ч – CP200	Державка TRAOR3225-4.76 Пластина RCGS4.76-46
45	Фреза	Державка - APMXE=7мм, APMXS=11мм, DC=20мм, DMM=18мм, OAL=150мм, LS=120мм Пластина - W1=8,2мм,S=5,03мм, LE=12мм, BS=1,2мм, RE=1,6 Перед.Кут = 19,1 °,	Чорнова - покриття MP3000 П/Ч - F40M	фреза R217.69-1820.0-12-2AN Пластина - XOEX120416R-M07

4, 21, 29, 32, 38, 41, 43	Шліфувальний круг	• 510 мм – зовнішній діаметр • 50 мм – товщина круга • 152,5 мм – діаметр посадкового отвору	99A-електрокорунд білий	-
43,38	Шліфувалиний круг	• 510 мм – зовнішній діаметр • 50 мм – товщина круга • 152,5 мм – діаметр посадкового отвору	99A-електрокорунд білий	-
51,52,53,54	Фреза	Державка - APMXS=4,5мм, DC=20мм, DCX=30мм, DMM=20мм, OAL=90мм, LS=50мм Пластина - S=3,97мм, L=9,52мм, BS=1,5мм, Перед.Кут = 25 °	Чорнова - покриття MP3000 П/Ч - F40M	Фреза R217.53-2020.3S-09-2A Пластина - SEEX09T3AFN-E04
47,48,49,50	Фреза	Державка - APMXS=6мм, DC=50мм, DCX=65мм, DCSFMS=47мм, DCB=22мм, LF=40мм Пластина - IC=14мм, S=6,59мм, RE=1, BS=1,5мм, Перед.Кут = 20 °	Чорнова - покриття MP3000 П/Ч - F40M	Фреза - R220.54-0050-14-4A Пластина - SNHX1407ANR-ME10
46	Фреза	Державка - DC=12мм, DCONMS=12мм, OAL=80мм,	Чорнова - покриття MP3000 П/Ч - F40M	Фреза - 4NTE90-212-12-04

		LH=18мм, APMX=3,5мм Пластина - IC=4мм, S=3,1мм, RE=0,2, APMX=3,5		Пластина - 4NKT040204R -M
55	Центрове свердло	D=6,3 мм, d=2,5мм, L=47мм, l=6,7мм, r=-1,7	P6M5	Центровочне свердло 2317-0133

3.3 Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання виконаємо аналітичним методом для найбільш навантаженого переходу - чорнового точіння зовнішньої циліндричної поверхні під нарізання черв'яка (Операція 010 Токарна з ЧПК).

Обробка ведеться прохідним різцем з твердосплавною пластиною.

Діаметр заготовки: D = 125 мм, діаметр після обробки d = 119 мм.

Припуск на обробку (глибина різання): t = (D - d) / 2 = (125 - 119) / 2 = 3 мм. Призначаємо подачу для чорнового точіння: S = 0,5 мм/об.

Розрахунок швидкості різання: Швидкість різання, що допускається різальними властивостями інструменту, визначається за емпіричною формулою:

$$V = \frac{Cv}{(T^m \cdot t^x \cdot S^y)} \cdot Kv$$

де T – період стійкості інструменту (приймаємо T = 45 хв);

Cv, x, y, m – коефіцієнти, що залежать від умов обробки (для сталі та твердого сплаву: Cv = 340; x = 0,15; y = 0,45; m = 0,2);

Kv – загальний поправочний коефіцієнт (приймаємо Kv = 0,9).

$$V = \frac{340}{(45^{0,2} * 3^{0,15} * 0,5^{0,45})} \cdot 0,9 = 118 \text{ м/хв.}$$

Визначення частоти обертання шпинделя:

$$n = \frac{(1000 \cdot V)}{(\pi \cdot D)} = \frac{(1000 \cdot 118)}{(3,14 \cdot 125)} = 300,6 \text{ об/хв.}$$

Зіставляючи з паспортними даними верстата Оптимум L520, приймаємо фактичну частоту обертання шпинделя n_ф = 315 об/хв.

Тоді фактична швидкість різання:

$$V_ф = \frac{(\pi \cdot D \cdot n_ф)}{1000} = \frac{(3,14 \cdot 125 \cdot 315)}{1000} = 123,6 \text{ м/хв.}$$

Визначення сили різання:

Головна складова сили різання (тангенціальна) розраховується за формулою:

$$Pz = 10 \cdot Cpz \cdot t^{xpz} \cdot S^{ypz} \cdot V_ф^{npz} * Kpz$$

Для оброблюваного матеріалу та твердосплавного інструменту:

Cpz = 300; xpz = 1,0; ypz = 0,75; npz = 0,15; Kpz = 1.

$$Pz = 10 \cdot 300 \cdot 3^{1,0} \cdot 0,5^{0,75} \cdot 123,6^{0,15} * 1 = 2675 \text{ Н.}$$

Визначення потужності різання:

Ефективна потужність на різання:

$$Ne = \frac{(Pz * V_ф)}{(60 * 1000)} = \frac{(2675 * 123,6)}{60000} = 5,51 \text{ кВт.}$$

Потужність приводу шпинделя верстата Оптимум L520 становить 17 кВт.

Отже умова Ne < N_дв * η (де η = 0,8) виконується (5,51 < 13,6).

Верстат підходить за потужністю.

Для інших операцій технологічного процесу режими різання були призначені за нормативними таблицями з урахуванням рекомендацій виробників інструменту та зведені у загальну технологічну документацію.

3.4 Технічне нормування

Технічне нормування виконується для встановлення технічно обґрунтованих норм часу на виконання технологічних операцій.

Для умов серійного виробництва норма штучно-калькуляційного часу визначається за формулою: $t_{шт.к} = t_{шт} + (T_{п.з.} / n)$

де $t_{шт}$ – норма штучного часу, хв; $T_{п.з}$ – підготовчо-заключний час на партію деталей, хв; n – кількість деталей у партії.

Норма штучного часу розраховується як сума: $t_{шт} = t_о + t_д + t_{техн} + t_{орг} + t_{відп}$

де $t_о$- основний (технологічний) час;

$t_д$ -допоміжний час (на встановлення/зняття деталі, вимірювання);

$t_{техн}$ - час на технічне обслуговування робочого місця (зміна інструменту);

$t_{орг}$ - час на організаційне обслуговування (прибирання стружки); t_відп – час на особисті потреби та відпочинок.

Для розрахованого раніше переходу (чорнове точіння, довжина L = 120 мм):

$$\text{Основний час: } t_o = \frac{(L + l1 + l2)}{(nф * S)} = \frac{(120 + 2 + 1)}{(315 * 0,5)} = 0,78 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на встановлення деталі в патроні з підтисканням центром, переходи та вимірювання беремо за нормативними довідниками: $t_д$ = 1,2 хв.

Час обслуговування та відпочинку у відсотках від оперативного часу ($t_о + t_д$) приймаємо 8%.

Тоді штучний час на перехід: $t_{шт} = (0,78 + 1,2) * 1,08 = 2,14$ хв.

За аналогічною методикою розраховуються норми часу для всіх інших технологічних операцій.

Використання сучасних верстатів з ЧПК (Оптимум L520, HAAS VR-8) дозволяє суттєво зменшити допоміжний час $t_д$ за рахунок автоматичної зміни інструменту та швидких переміщень, що підвищує загальну продуктивність обробки деталі «Черв'ячний вал».

3.5 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту

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

Для розрахунку обираємо прохідний різець PWLNR2525M06, оскільки саме він знімає найбільший припуск на механічну обробку та працює в найбільш складних умовах. Розміри різця: h = 25 мм; b = 25 мм; l_1(LF) = 150 мм; l_2(LH) = 21 мм; f (WF) = 32 мм. Матеріал різця — сталь 40Х з межею міцності σ_β = 980 МПа і допустимою напругою σ_д.п. =600 МПа. Матеріал заготовки — сталь 35ХМА з межею міцності σ_β = 615 МПа. Діаметр заготовки — 92 мм, припуск на обробку (з кожного боку — 3 мм), подача S = 0,5 мм/об, виліт різця l = 65 мм.

1. Визначаємо силу різання

$$P_z = 9.18 C_{p_z} t^{x_{pz}} S^{x_{pz}} K_{p_z}$$

Для сталі 35ХМА (σв= 615 МПа, НВ=187-229) і твердосплавного інструменту: Cpz≈ 300 Н/мм^2.

Примемо Cpz=300 Н/мм^2

xpz - показник ступеня для глибини різання.

xpz=1 (лінійна залежність).

ypz - показник ступеня для подачі.

ypz=0.75 (типово для чорнової обробки).

Kpz - поправочний коефіцієнт.

З огляду на негативний передній кут пластини і чорнову обробку:

Kpz=1.2

$$P_z = 9.18 \cdot 300 \cdot 3^1 \cdot 0{,}5^{0{,}75} \cdot 1.2 = 5895 \text{ Н}$$

2. Ширина і висота перетину державки b=25 мм; h=25 мм
3. Перевіряємо міцність і жорстокість держави різця

а) макс. навантаження, допустима міцність різця:

$$P_{z\,\text{доп}} = \frac{bh^2\sigma_{\text{н.д}}}{6l} = \frac{0{,}025 \cdot (0{,}025)^2 \cdot 600 \cdot 10^6}{6 \cdot 0{,}065} = 24038 \text{ Н}$$

б)макс. навантаження, допустима жорсткість різця:

$$P_{z\,\text{жорс}} = \frac{3fEJ}{l^3} = \frac{3 \cdot 0{,}0001 \cdot (2{,}1 \cdot 10^{11}) \cdot (3{,}26 \cdot 10^{-8})}{(0{,}065)^3} = 7479 \text{ Н}$$

f = 0.0001

E = $2.1 \cdot 10^{11}$Па

J=I = $\frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0{,}025 \cdot 0{,}025^3}{12} = 3{,}26 \cdot 10^{-8}$ мм^4.

l=0.065 м

Перевірка різця на міцність і жорстокість:

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

$$24038 > 5895 < 7479$$

Умова виконана. Різець володіє достатньою міцністю і жорсткістю.

3.6 Компоновка інструментального комплексу чи системи та розробка інструментально налагодження на технологічну операцію деталі

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 (шпиндель). При проектуванні налагодження враховуються 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 здійснюємо для токарних та фрезерних операцій.

Операції виконуємо на верстаті Optium L520 та HAAS VR-8. Інструментальний комплекс складається за даними таблиць 2.1, 2.3, 2.4 відповідно до технологічної операції. Дані занесено в таблицю 4.1.

Вибір типорозміру допоміжних інструментів

Враховуючи параметри поверхонь посадочних місць верстата під Різальний інструмент та параметри поверхонь посадочних місць різальних інструментів, призначаємо типи допоміжних інструментів за міжнародними стандартами до кожного обраного різального інструменту. Дані занесемо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 - Вибір типу допоміжного інструменту

№ з/п поверхні	Металорізальний верстат (тип, модель)	Параметри посадочного місця верстата під інструмент	Тип ріжучого інструмент у (Шифр інструменту)	Параметри посадочного місця ріжучого інструменту	Допоміжний інструмент (Шифр інструменту) за міжнародними стандартами

1	2	3	4	5	6
1, 3, 5, 11, 12, 15, 17, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 30, 33, 35, 42, 44	Optium L520	VDI40	PSKNR2525K 12	H=25мм, B=25мм	Різцетримач C6-ASHR-105-20JETI
1, 3, 5, 11, 12, 15, 17, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 30, 33, 35, 42, 44	Optium L520	VDI40	PSKNR2525K 12	H=25мм, B=25мм	Різцетримач C6-ASHR-105-20JETI
3,22,23,28	Optium L520	VDI40	PSKNR2525K 12	H=25мм, B=25мм	Різцетримач C6-ASHR-105-20JETI
2, 4, 6, 8, 10, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 24, 27, 29, 31, 32, 34, 37, 38, 39, 41, 43	Optium L520	VDI40	PWLNR2525 M06	H=25мм, B=25мм	Різцетримач C6-ASHR-122-25JETI
4, 21, 29, 38, 41, 43	Optium L520	VDI40	PSDNN2525K 12	H=25мм, B=25мм	Різцетримач C6-ASHR-105-20JETI
14, 16, 18	Optium L520	VDI40	DDJCR2525X 11JET	H=25мм, B=25мм	Різцетримач C6-ASHR-122-25JETI
6,27,34	Optium L520	VDI40	PER2525X16 QHDJETI	H=25мм, B=25мм	Різцетримач C6-ASHR-105-20JETI
7,9	Optium L520	VDI40	PDNNR2525 M11	H=25мм, B=25мм	Різцетримач C6-ASHR-122-25JETI
40	Optium L520	VDI40	TRAOR3225-4.76	H=32мм, B=25мм	Різцетримач C6-ASHR-122-25JETI
45	HAAS VR-8	HSK-A63	R217.69-1820.0-12-2AN	DMM=18 мм	Термопатрон - E930454031895M

51,52,53,54	HAAS VR-8	HSK-A63	R217.53-2020.3S-09-2A	DMM=20 мм	Термопатрон - E9304540320100M
47,48,49,50	HAAS VR-8	HSK-A63	R220.54-0050-14-4A	DCSFMS =47мм	Оправка для торцевої фрези - E930455522210
46	HAAS VR-8	HSK-A63	4N TE90-212-12-04	DCONMS =12мм	Термопатрон - E930454031290M
55	HAAS VR-8	HSK-A63	Центровочне свердло 2317-0133	D=6,3 мм, d=2,5мм, L=47мм, l=6,7мм, r=-1,7	Свердлильний патрон- E9304508513

1) Для різців застосовуємо різцетримач радіальний - ASHA-R-VDI40-25-JETI;

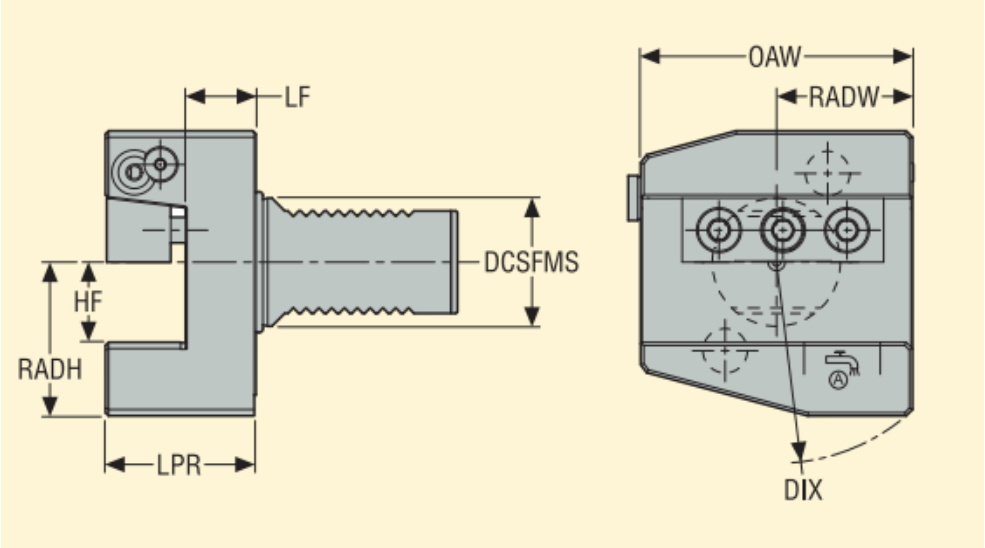


Рисунок 3.25 - Різцетримач радіальний - ASHA-R-VDI40-25-JETI [1, с.407]

Геометричні параметри: DCSFMS=40мм, DIX=128мм, RADW=43мм, OAW=85мм, RADH=48мм, HF=25мм, LF=22мм, LPR=47мм.

2) Для фрези R217.69-1820.0-12-2AN використовуємо термопатрон E930454031895M

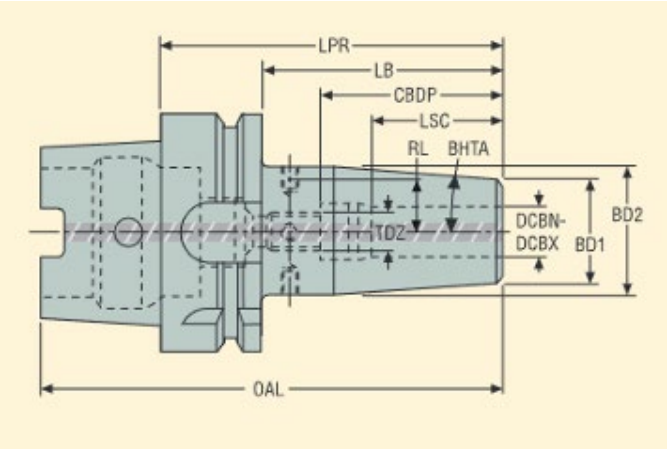


Рисунок 3.26 – термопатрон E930454031895M [6, с. 89]

Геометричні параметри: LPR – 95,0 мм; LB – 69,0 мм; CBDP – 53,0 мм; LSC – 39,0 мм; BD2 – 42,0 мм; BD1 – 33,0 мм; OAL – 127,0 мм; RL – 18,0 мм;

3) Для фрези R217.53-2020.3S-09-2A використовуємо термопатрон E9304540320100M (рисунок 4.2)

Геометричні параметри: LPR – 100,0 мм; LB – 74,0 мм; CBDP – 55,5 мм; LSC – 41,0 мм; BD2 – 42,0 мм; BD1 – 33,0 мм; OAL – 132,0 мм; RL – 18,0 мм;

4) Для фрези 4N TE90-212-12-04 використовуємо термопатрон E930454031290M (рисунок 4.2)

Геометричні параметри: LPR – 90,0 мм; LB – 64,0 мм; CBDP – 48,0 мм; LSC – 34,0 мм; BD2 – 32,0 мм; BD1 – 24,0 мм; OAL – 122,0 мм; RL – 13,0 мм;

5) Для фрези R220.54-0050-14-4A використовуємо оправку для торцевої фрези E930455522210

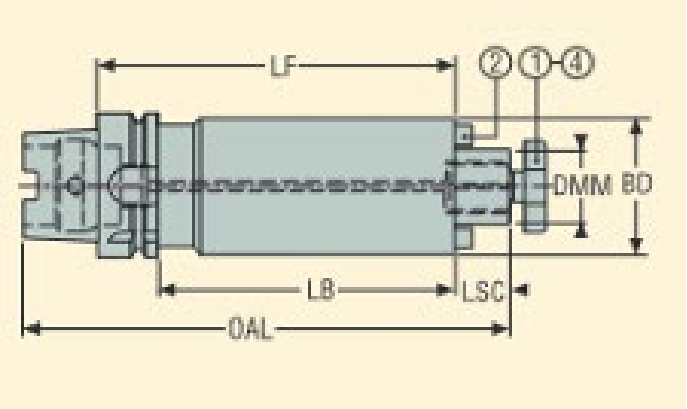


Рисунок 3.27 – оправка E930455522210 [6, с. 72]

Геометричні параметри - LF – 210,0 мм; BD – 48,0 мм; BD1 – 48,0 мм; OAL – 261,0 мм; LB – 184,0 мм; LSC – 19,0 мм;

6) Для центровочного свердла 2317-0133 обираємо свердлильний патрон E9304508513

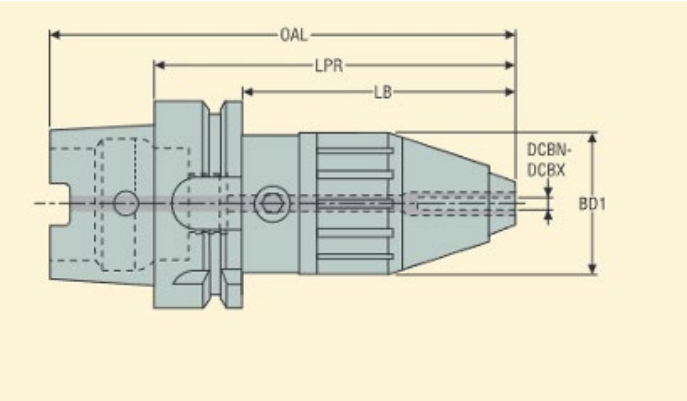


Рисунок 3.28 – свердлильний патрон E9304508513 [6, с. 107]

Геометричні параметри: OAL=142мм; LPR=110мм; LB=84мм; BD1=43мм.

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 - фасонного різця.

Фасонні різці класифікуються за формою та конструкцією на круглі (дискові), призматичні та стрижневі. Призматичні різці мають кращі ріжучі властивості та вищу точність обробки порівняно зі стрижневими. Круглі різці є більш технологічними у виготовленні і допускають більшу кількість заточок. Вони можуть мати кільцеві або гвинтові твірні.

Основним матеріалом для круглих фасонних різців є швидкорізальна сталь, або титанові сплави.

З метою економії швидкорізальної сталі (титанового сплаву), фасонні різці можуть виготовлятися зварними. Різці з пластинами з твердих сплавів застосовуються рідше, ніж різці зі швидкорізальної сталі, через складнощі шліфування їхнього профілю та меншу кількість допустимих заточок.

Для закріплення круглих фасонних різців у державці на торцевих поверхнях цих різців передбачені рифлення, отвори під штифт або пази. [2, с.132]

Таблиця 4.1 Вихідні дані до розрахунку:

Матеріал заготовки	Сталь 35ХМА
Твердість	229 МПа
Стан поверхні	після механічної обробки
Діаметр заготовки	55 мм
Оброблювані поверхні	7,33,34,36
Шорсткість поверхні	Ra 6,3

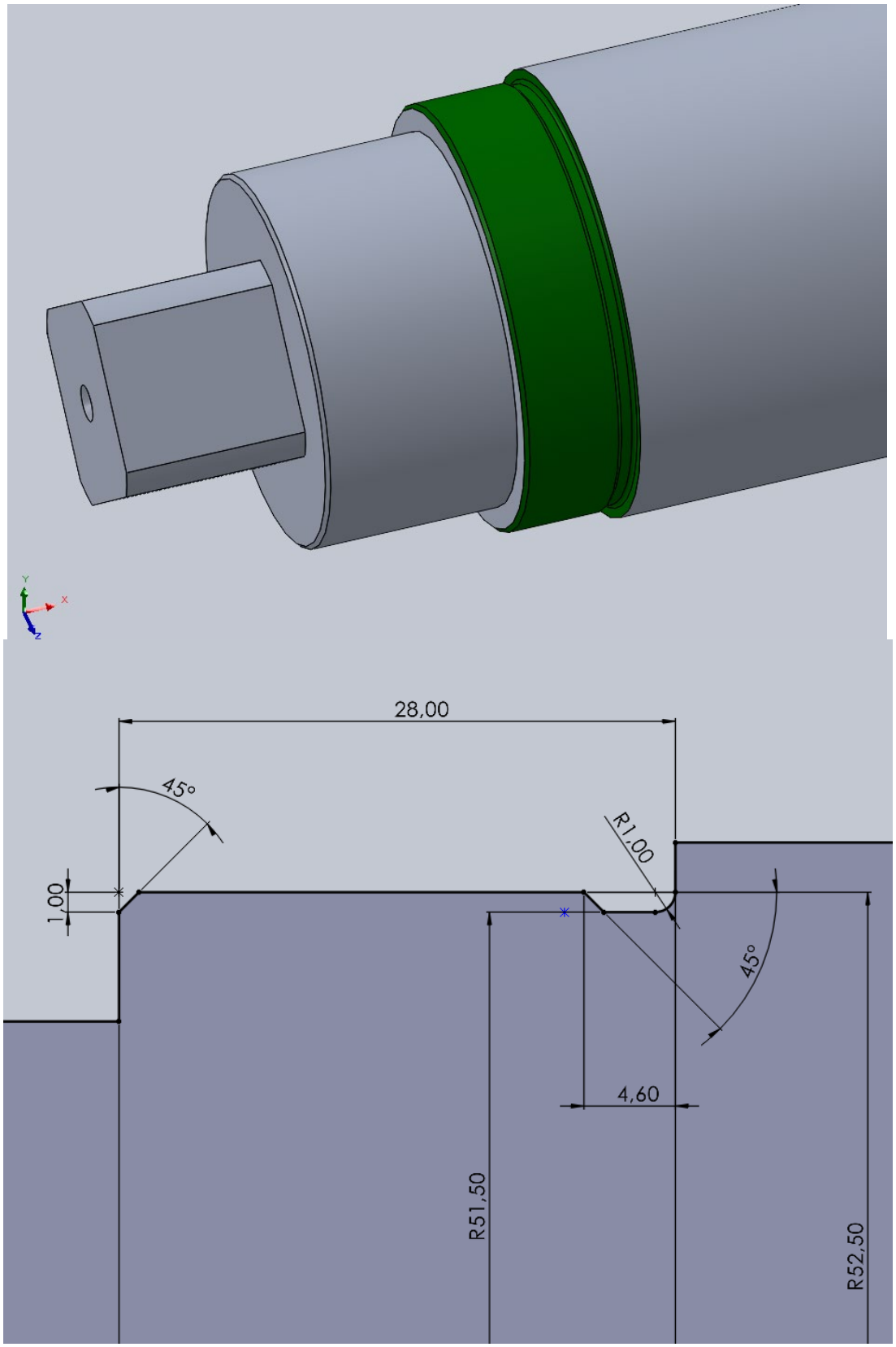
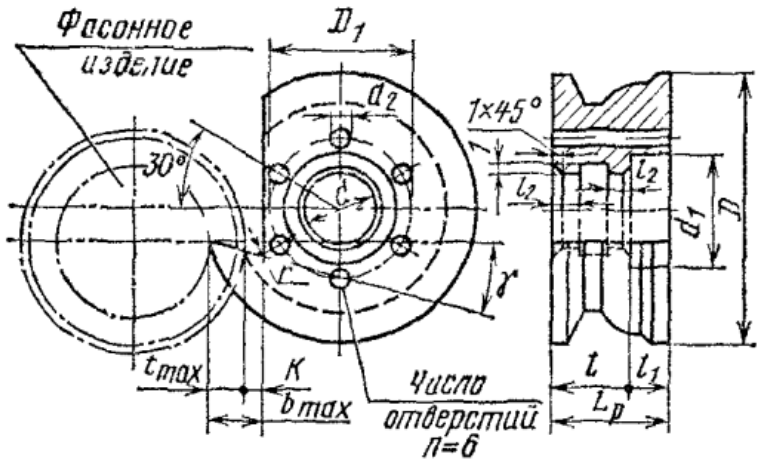


Рисунок 4.1 - Параметри оброблюваних поверхонь

Обираємо тип фасонного різця - круглий (дисковий) з отворами під штифт. Згідно Таблиць 44, 47 Збірника задач Нефьодова Н. обираємо основні розміри різця, враховуючи максимальну глибину різання 5 мм та матеріал заготовки Сталь 35ХМА. [2, с. 133]

Таблиця 4.2 Розміри, мм, фасонних дискових різців з отворами під штифт

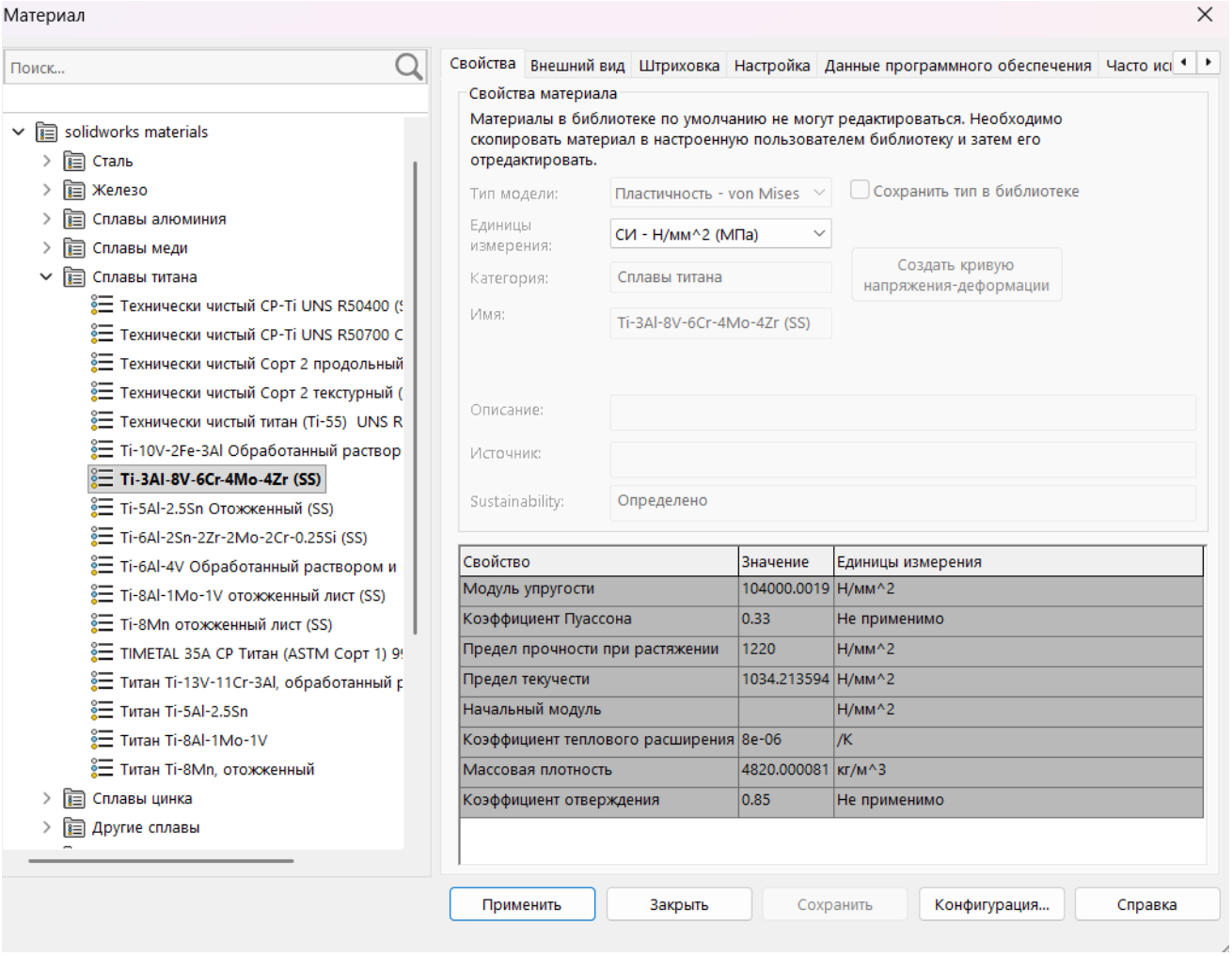


Глибина профілю заготовки t_{max}, мм, не більше	D	d (H8)	d_1	b_{max}	K	r	D_1	d_2
5	80	15	35	9	3	1	42	5

Рисунок 4.2 -Розміри профілю фасоного різця

Таблиця 4.3 Геометричні елементи леза робочої частини різця

Матеріал заготовки	Передній кут, γ	Задній кут, α
Сплав тітану (див. таблицю)	20-25	8-15



Приймаємо: передній кут - 23°, задній кут - 12°.

На основі аналізу методів обробки поверхонь та вибраних типів ріжучих інструментів виконуємо розрахунок спеціального ріжучого інструмента – різця фасонного.

Вихідні дані до розрахунку:

- Ескіз операції для якої здійснюється розрахунок спеціального ріжучого інструменту, що зображений на рисунку 2.1
- Тип і модель верстату;
- Посадочне місце шпинделя верстата;

Матеріал деталі та визначення границі міцності.

В якості матеріалу для корпуса різця обираємо Сталь 40Х ГОСТ 4345-71 з σ_B=980 МПа та допустиме навантаження на згин $\sigma_{И.Д.}$=200 МПа.

Передні та задні кути леза різця визначаємо по таблиці 47 [7, стр. 136]: γ=20°, α=10°.

Розміри додаткових ріжучих кромок приймаємо: a=2 мм – ширина додаткової зміцнюючої кромки; c=6 мм – ширина кінцевої ріжучої кромки;

$в_1$=1мм – перекриття ріжучої кромки; φ_1=45°.

Загальна ширина різця вздовж осі заготовки:

$$L_p=l_д+a+c+в_1 \quad (4.1)$$

L_p=26+3+3+1=33 мм

Габаритні й конструктивні розміри призматичного різця для найбільшої глибини заготовки t_{max}=2 мм, вибираємо по таблиці 46 [7 стр. 135]. Конструктивні розміри B=15 мм; H=45 мм.

Розміри C_2, C_4, C_7 й координати відстаней P_2, P_4, P_6, P_7 розраховуємо згідно послідовності.

Профіль шаблонів й контршаблонів для контролю фасонного профілю призматичного різця повністю визначається координатами відстаней P_2, P_4, P_6, P_7, розрахованих в результаті корекційного розрахунку окремих кутових точок даного профілю. Допуски на лінійні розміри фасонного профілю шаблона при його виготовленні не мають перевищувати ±0,01 мм.

Перевіряємо міцність та жорсткість корпусу оправки.

Максимальне навантаження, що допускається міцністю оправки:

$$P_Z = \frac{bh^2\sigma_{И.Д.}}{6l} \tag{4.2}$$

$$P_Z = \frac{0{,}010 \cdot 0{,}07726^2 \cdot 200 \cdot 10^6}{6 \cdot 0{,}1} = 19897H;$$

Де $\sigma_{И.Д.}$=200×10^{6}МПа; l=0,1м.

Максимальне навантаження, що визначається жорсткістю різця:

$$P_{ZЖ} = \frac{3fEJ}{l^3} \tag{4.3}$$

$$P_{ZЖ} = \frac{3 \cdot 0{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 38{,}43 \cdot 10^{-8}}{0{,}1^3} = 23058H$$

Де f =0,1×10^{-3} - допустима стріла прогину різця при попередньому точінні; E =2×10^{11} - модуль пружності матеріалу різця; J – момент інерції перерізу різця, що обчислюється за формулою:

$$J = \frac{bh^3}{12} \tag{4.4}$$

$$J = \frac{0{,}010 \cdot 0{,}07726^3}{12} = 38{,}43 \cdot 10^{-8}\ м^4$$

Отже, обраний переріз різця b×h=35×90 задовольняє всім умовам міцності та жорсткості.

У технічних вимогах вказуємо матеріал ріжучої пластини, матеріал державки, матеріал шаблона й контр шаблона. Розміри контурних точок профілю різця отриманні корекційним розрахунком з відхиленням до 0,001мм. Невказані граничні відхилення становлять h14, ±IT14/2 за ГОСТ 25347-82. Ріжуча частина різця приварюється методом контактного стикового зварювання.

Виконуємо креслення круглого фасонного різця.

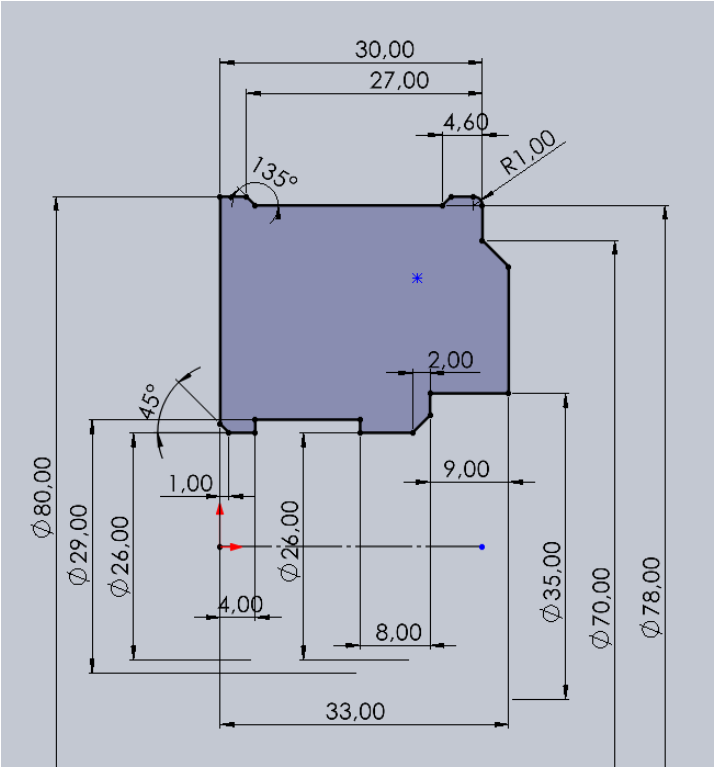


Рисунок 4.2 – Побудова профіля різця

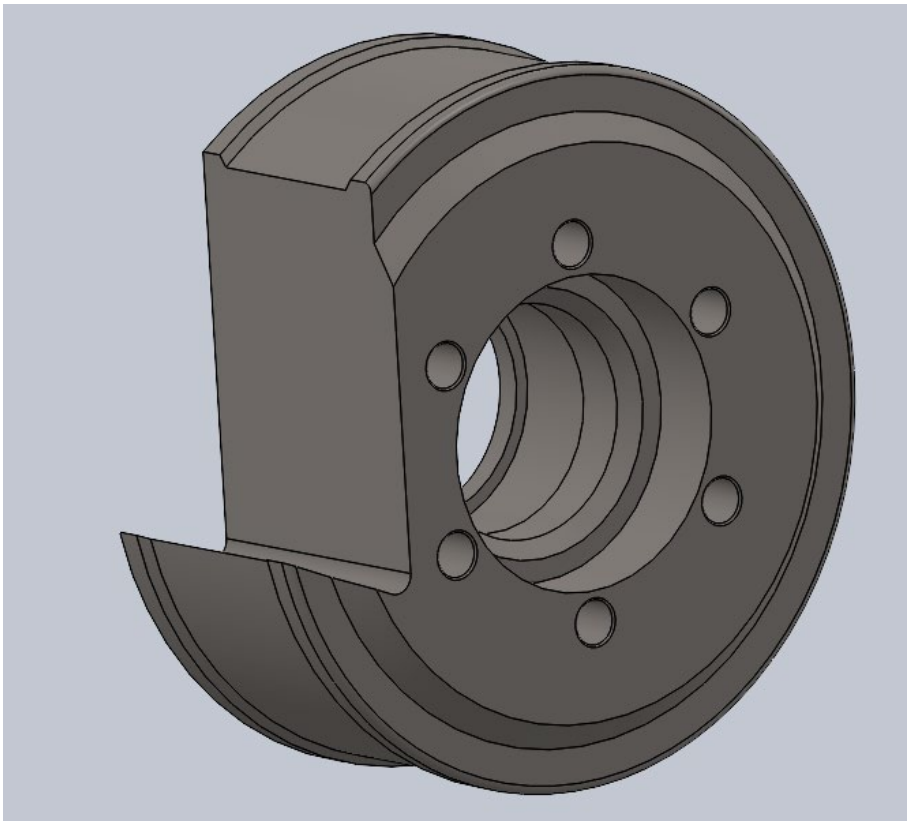


Рисунок 4.3 – Побудована 3D-модель різця

4.2. Інженерний аналіз спеціального різального інструменту

Виконаємо інженерний аналіз з метою оцінки працездатності спеціального різального інструменту, круглого фасонного різця, під дією експлуатаційних навантажень, а також визначення параметрів його напружено-деформованого стану в процесі точіння поверхонь. Розрахунки проводилися в програмному комплексі SOLIDWORKS Simulation із використанням попередньо створеної тривимірної моделі інструменту. Для робочої частини різця було задано матеріал титановий сплав, тоді як державку - моделювали зі сталі 40Х.

На початковому етапі дослідження було сформовано скінченно-елементну модель різця та виконано оцінювання якості побудованої сітки.

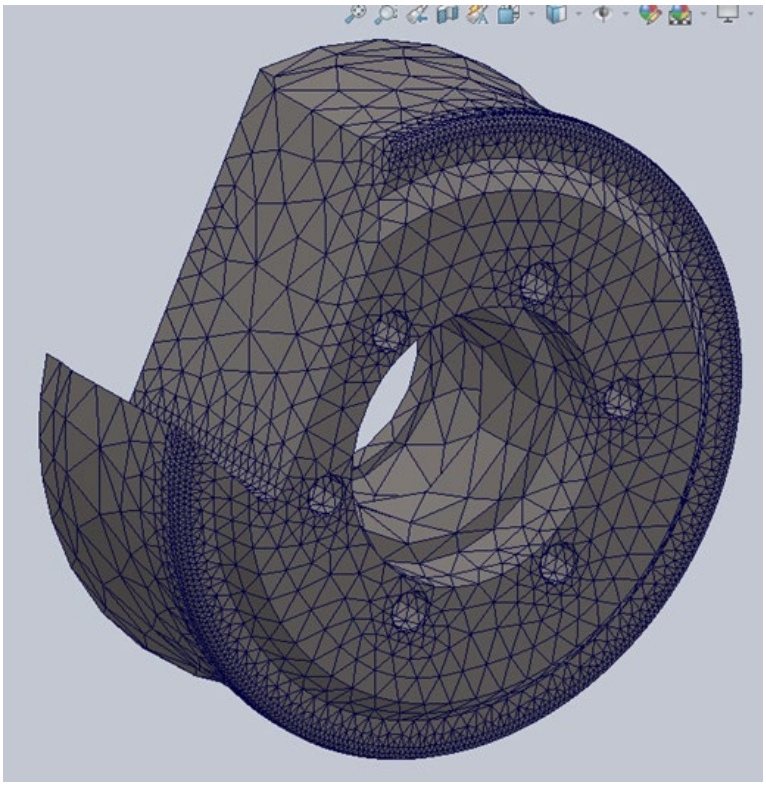


Рисунок 4.4 – Сітка кінцевих елементів моделі

На другому етапі дослідження було задано граничні умови моделі, зокрема визначено способи закріплення інструменту та схему прикладання робочих навантажень, що виникають у процесі точіння. Закріплення різця моделювалося по поверхнях оправки та штифтів, що відтворює реальні умови його встановлення і затиску в різцетримачі металорізального верстата.

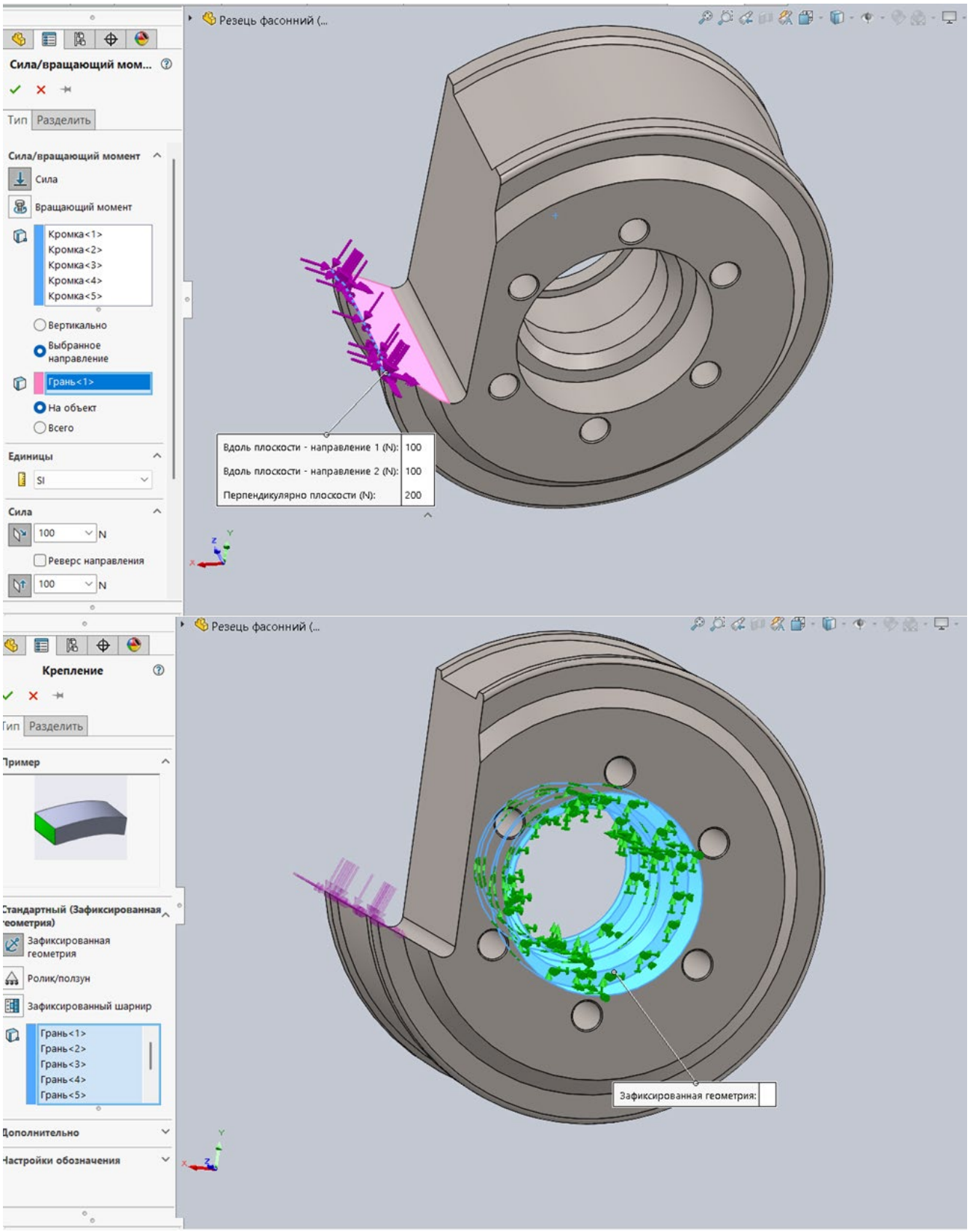


Рисунок 4.5 – Закріплення інструменту та навантаження на нього

Аналіз епюр розподілу статичних напружень та коефіцієнта запасу міцності під час обробки поверхні точінням, наведених на рисунку 4.6-4.9, свідчить про те, що максимальні навантаження концентруються в ріжучій частині інструменту, зокрема в зоні формування фасонної канавки оброблюваної поверхні.

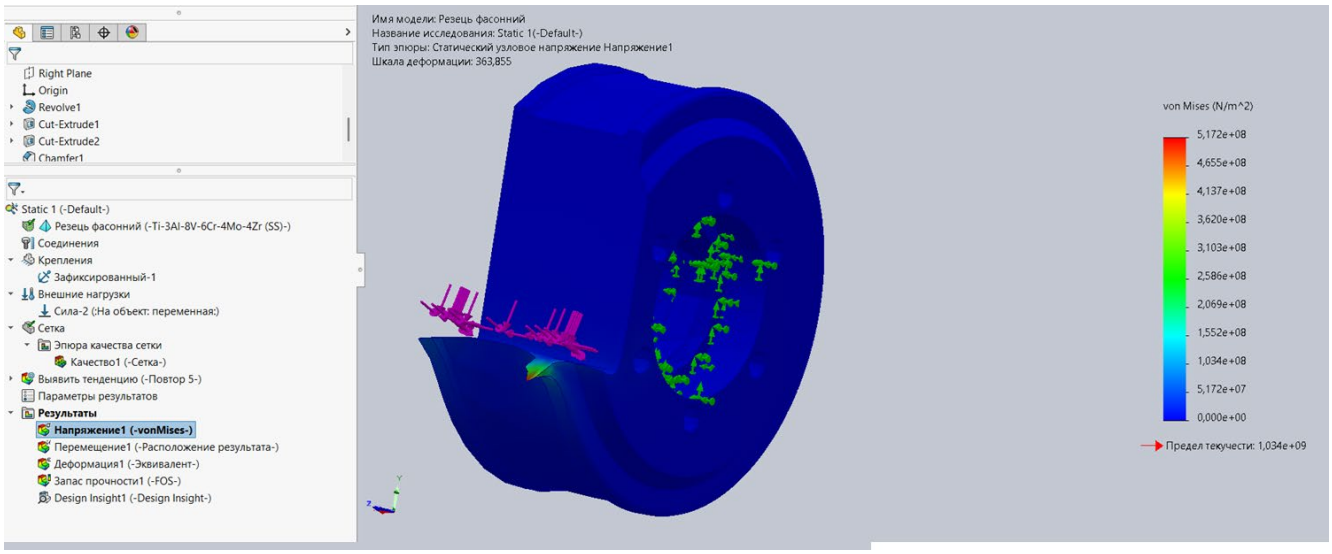


Рисунок 4.6 – Епюри статичного аналізу. Статичні вузлові напруження.

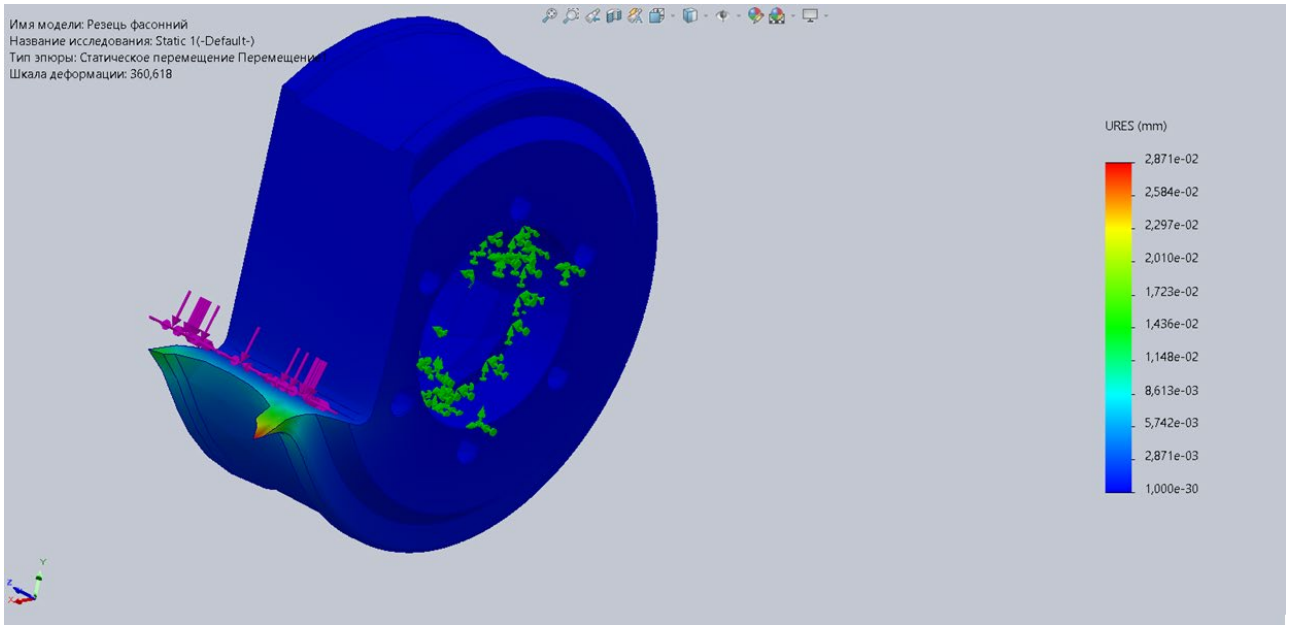


Рисунок 4.7 – Епюри статичного аналізу. Статичні переміщення.

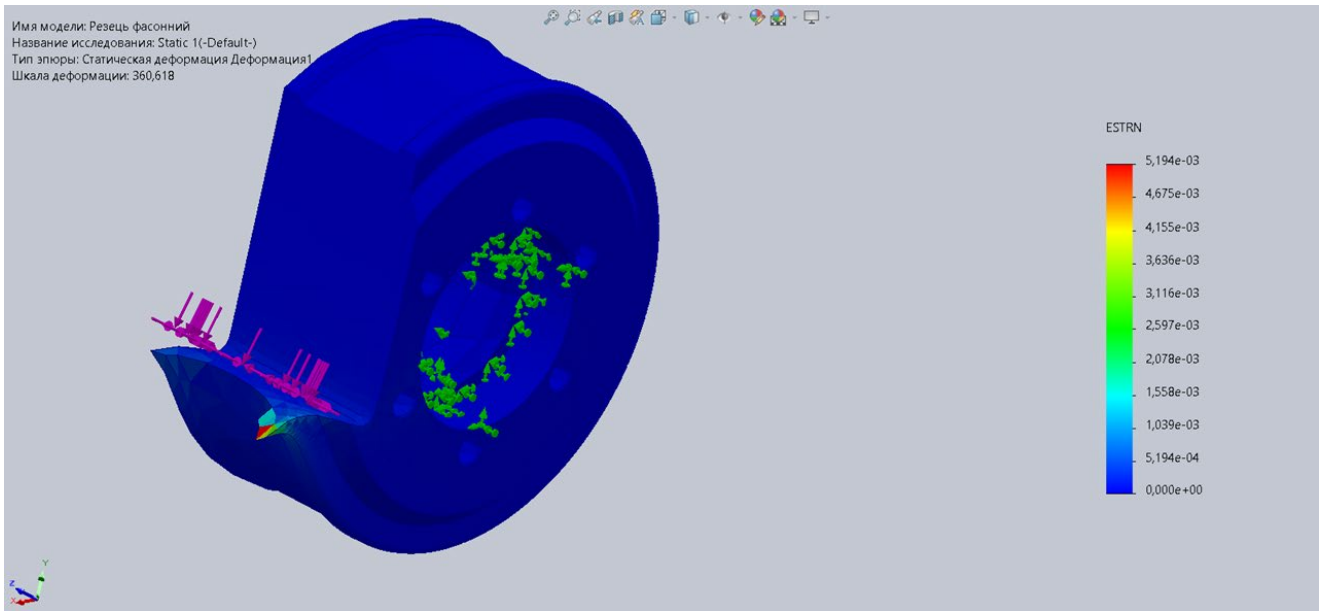


Рисунок 4.8 – Епюри статичного аналізу. Статична деформація.

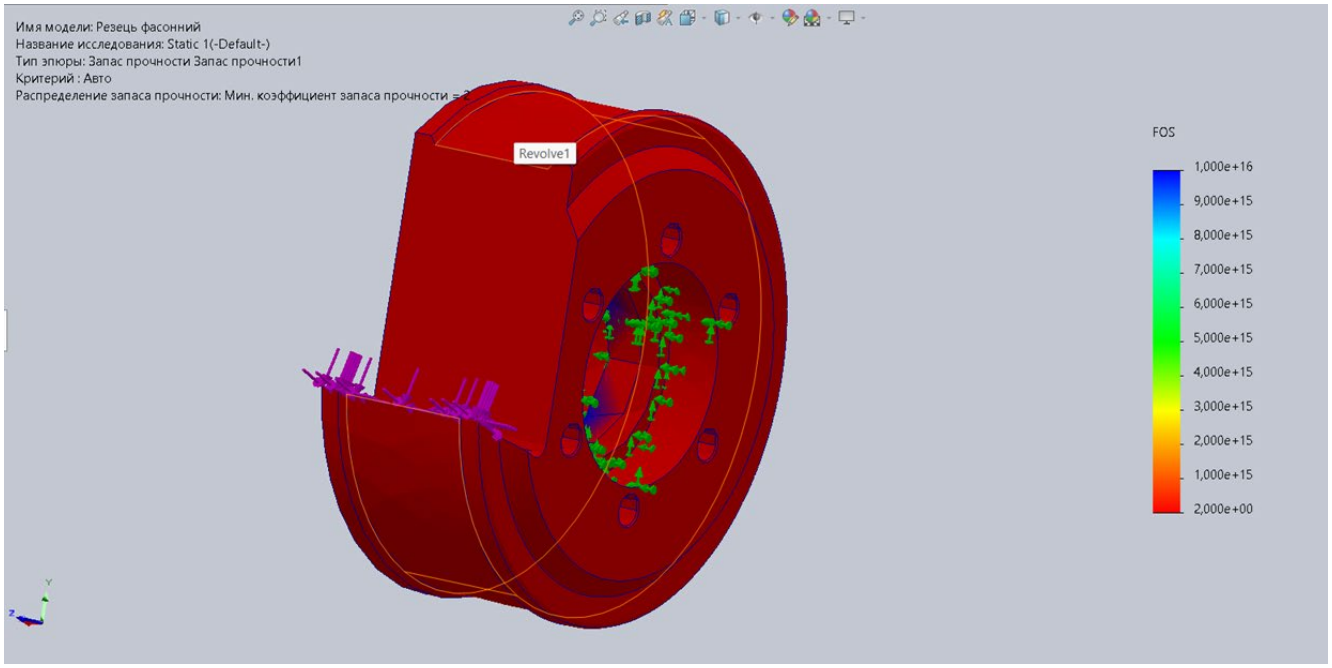


Рисунок 4.9 – Епюри запасу міцності.

Аналіз отриманих епюр показав, що найбільш навантаженою ділянкою спеціального різального інструменту є зона обробки фасонної канавки деталі. Саме в цій області зафіксовано максимальні значення еквівалентних напружень та мінімальний коефіцієнт запасу міцності, що свідчить про її найбільшу потенційну небезпеку з точки зору міцності та довговічності інструменту.

Епюра запасу міцності показує, що конструкція фасонного інструменту забезпечує працездатність зпроєктованого інструменту.

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

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

Моделювання та розроблення керуючої програми механічної обробки здійснювалися для токарної операції. Технологічний процес передбачав точіння поверхонь, підрізання торців, обробка канавок заданої деталі. Як вихідну заготовку використано тривимірну модель деталі «Черв'ячний вал», що відповідає стану після проведення токарної обробки. Створену модель було підготовлено для подальшого імпорту до CAM-системи з метою моделювання процесу обробки та генерації керуючої програми для верстату з числовим програмним керуванням.

За кресленням деталі «Черв'ячний вал» (рисунок 5.1), створюємо тривимірну модель деталі у CAD-системі SolidWorks.

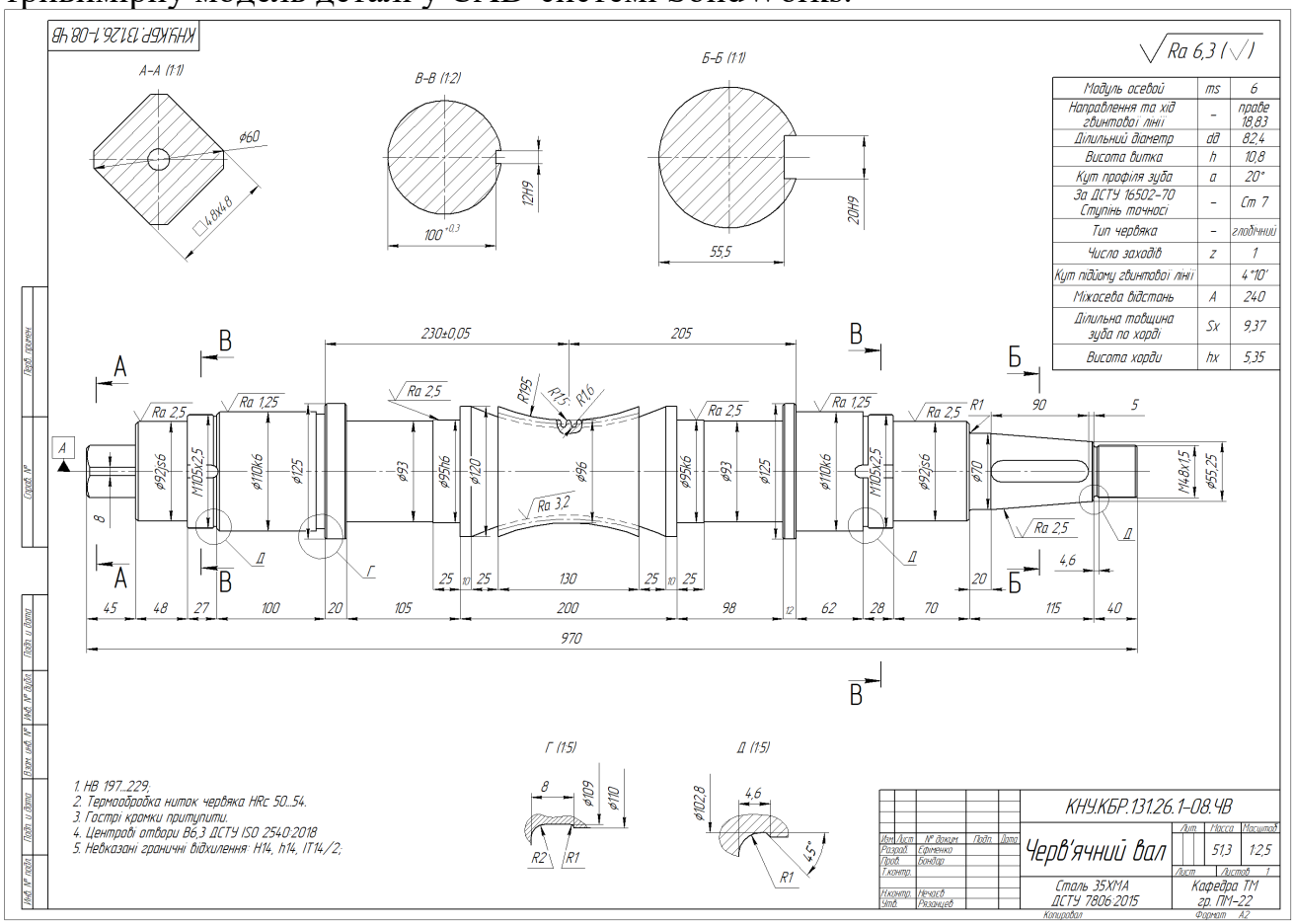


Рисунок 5.1 – Креслення деталі «Черв'ячний вал»

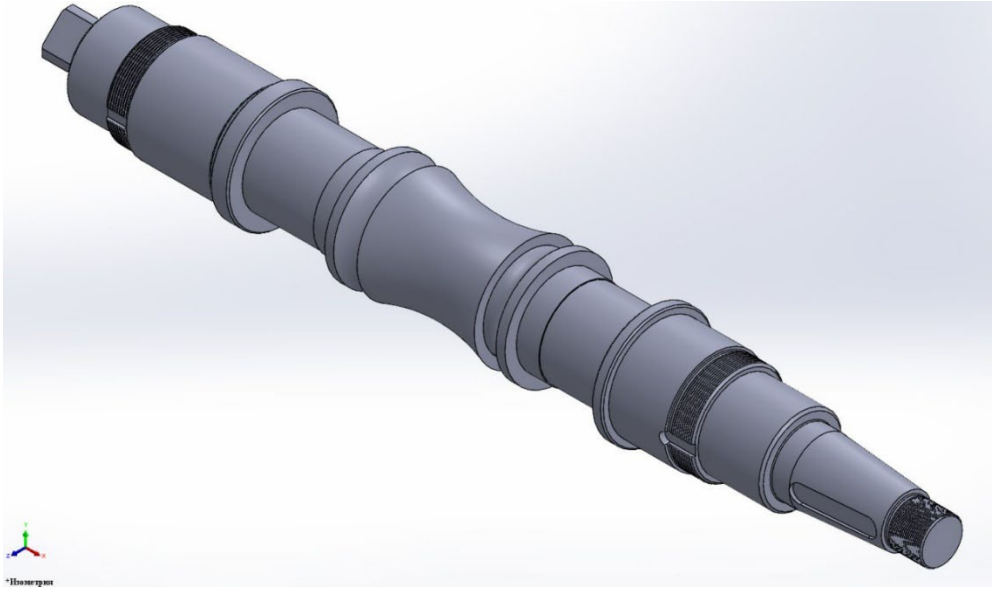


Рисунок 5.2 – Тривимірна модель деталі

5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм

Створену тривимірну модель деталі необхідно зберегти у форматі зрозумілому програмі FeatureCAM, цим форматом є Parasolid (*.x_t).

Наступним кроком необхідно імпортувати модель деталь до системи FeatureCAM. поєднати локальні системи координат і вісь Z повинна співпадати з віссю обертання та бути напрямленою в бік шпинделя.

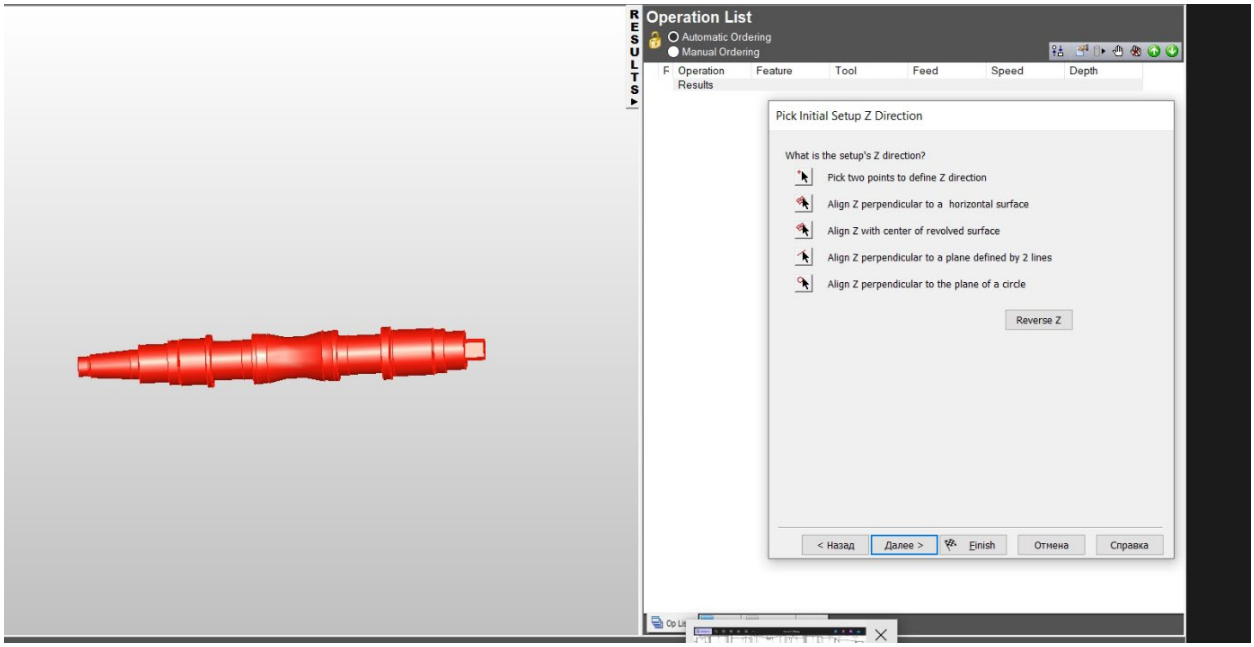


Рисунок 5.3 –Вибір орієнтації по вісі Z

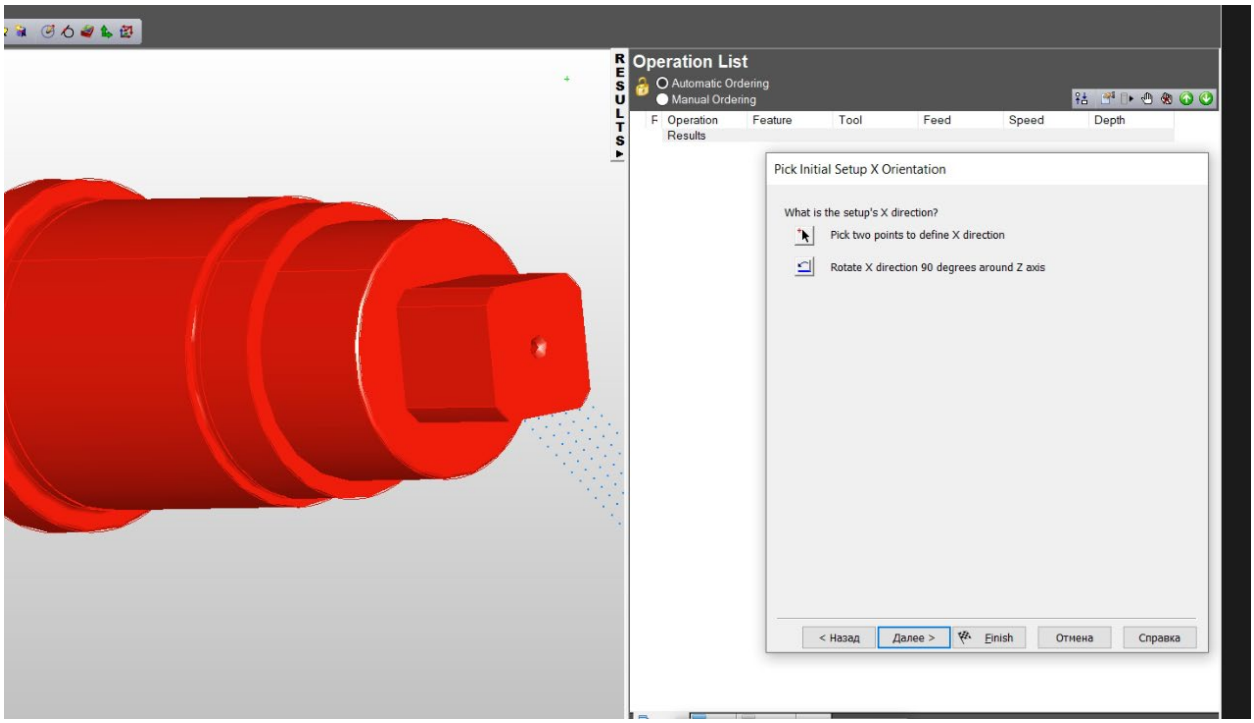


Рисунок 5.4 –Першочергове налаштування, вибір орієнтації по вісі X

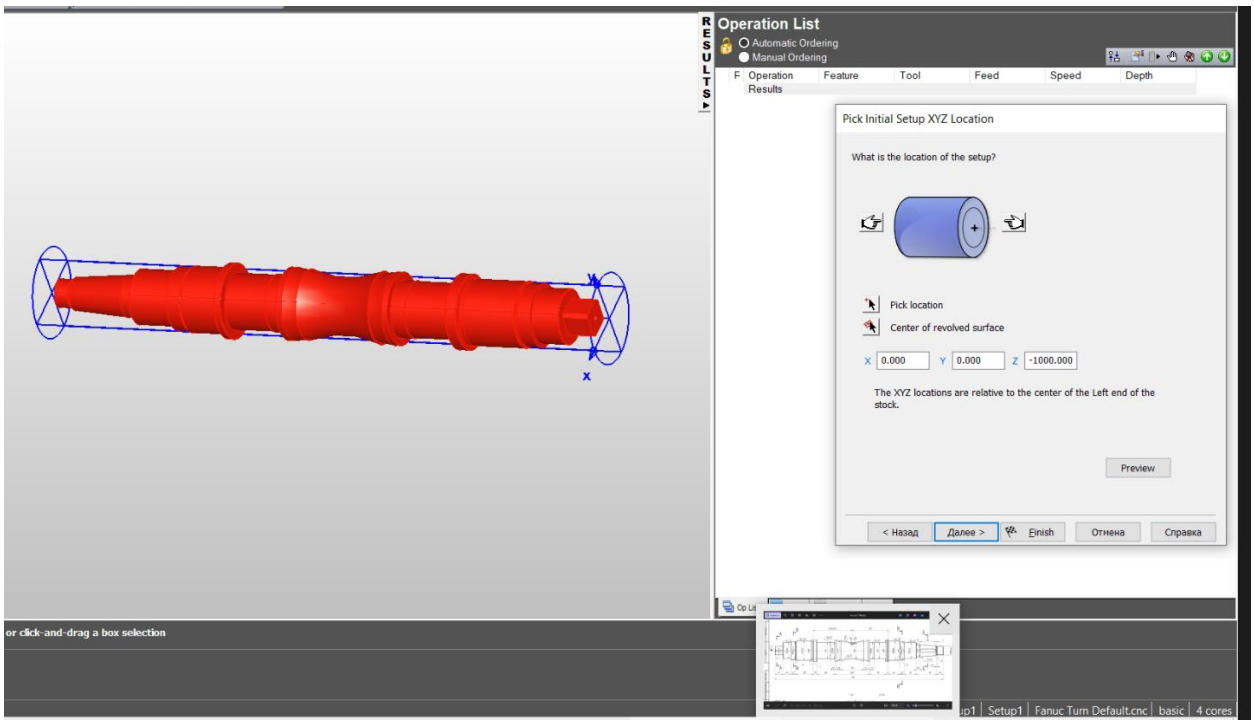


Рисунок 5.5 –Вибір базової точки прив’язки XYZ

Далі аналізуємо та задаємо основні операції та переходи по обробці деталі

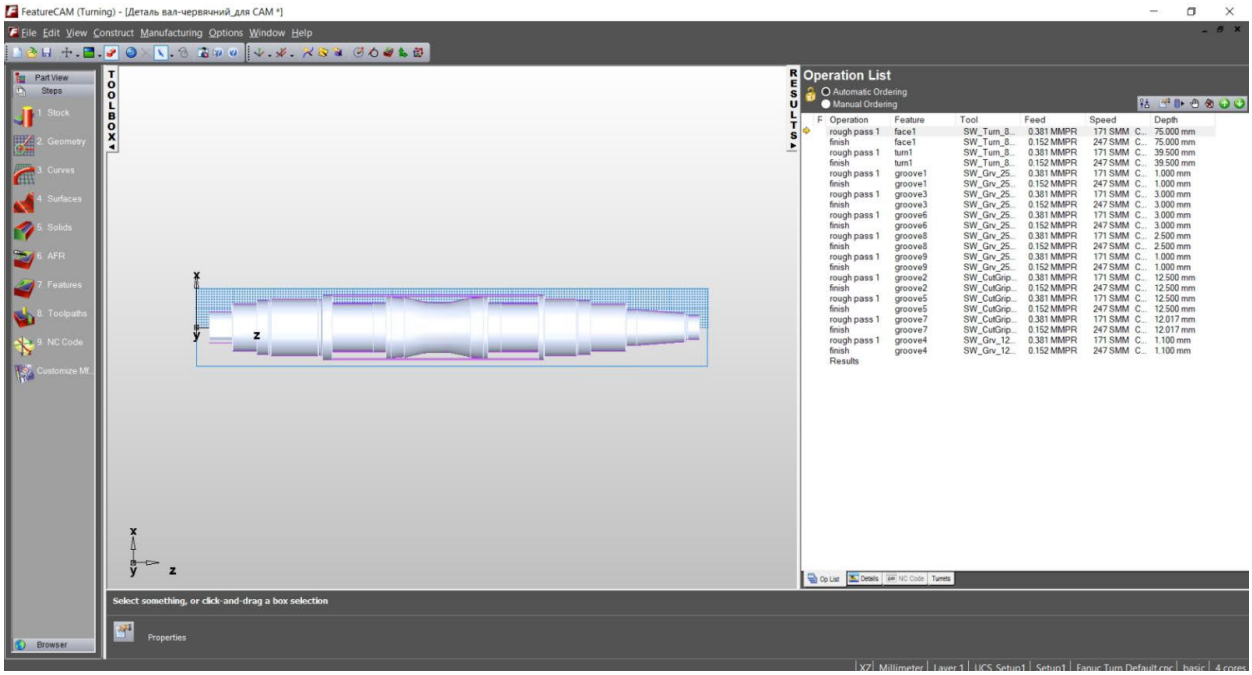


Рисунок 5.6 –Вибір операцій та переходів по обробці заданої деталі

Наступним кроком необхідно призначити інструмент для здійснення обробки, обираємо тип різця та задаємо параметри обробки.

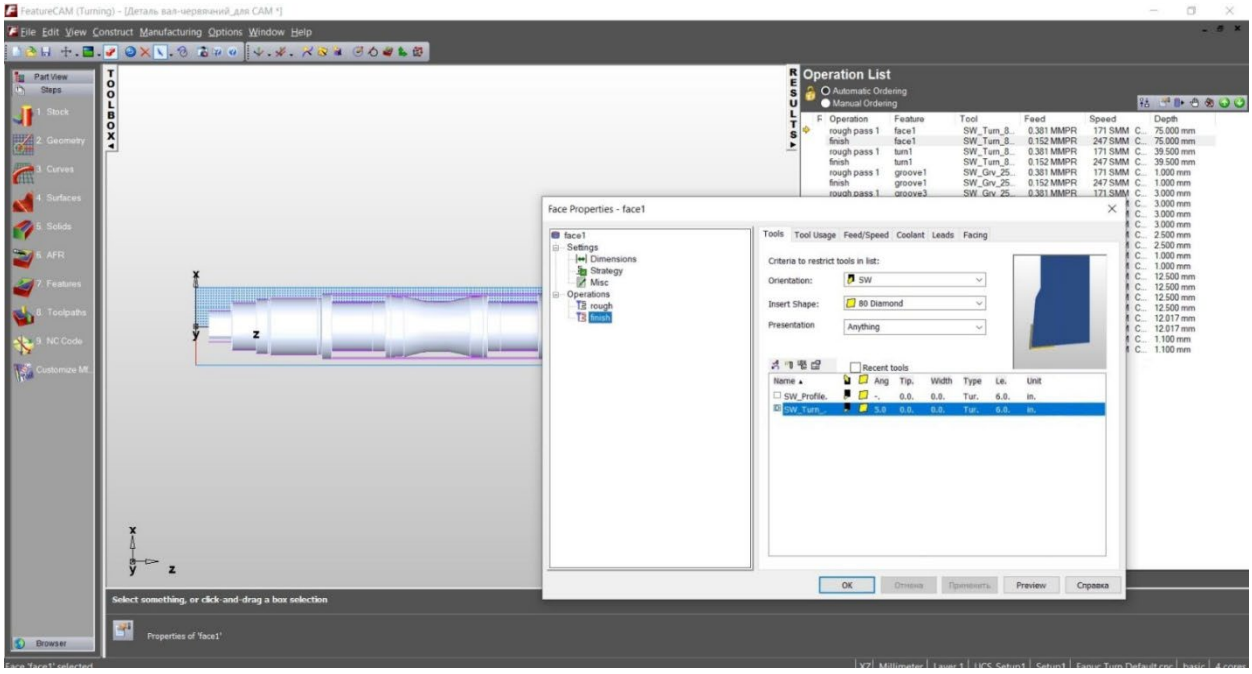


Рисунок 5.7 –Вибір інструменту

Аналізуємо траєкторію обробки заданої деталі та при необхідності вносимо коригування

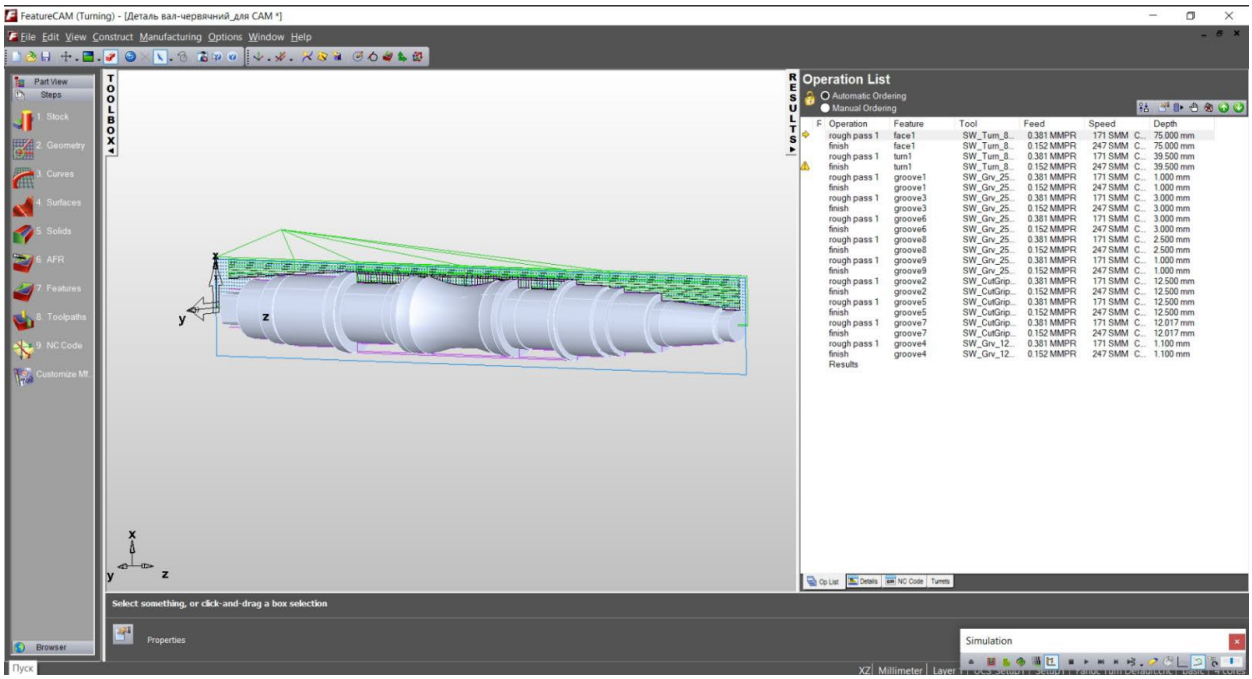


Рисунок 5.8 –Траєкторії обробки

З прив’язкою до верстату формуємо програму для токарної обробки заданої деталі

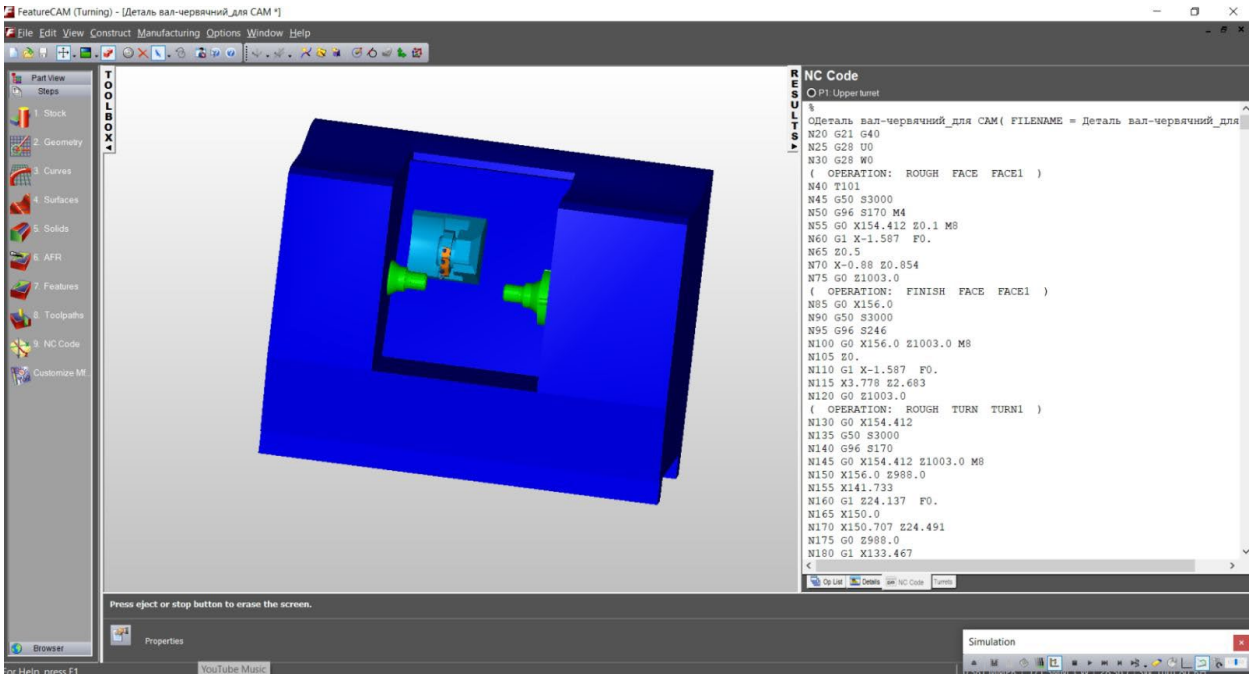
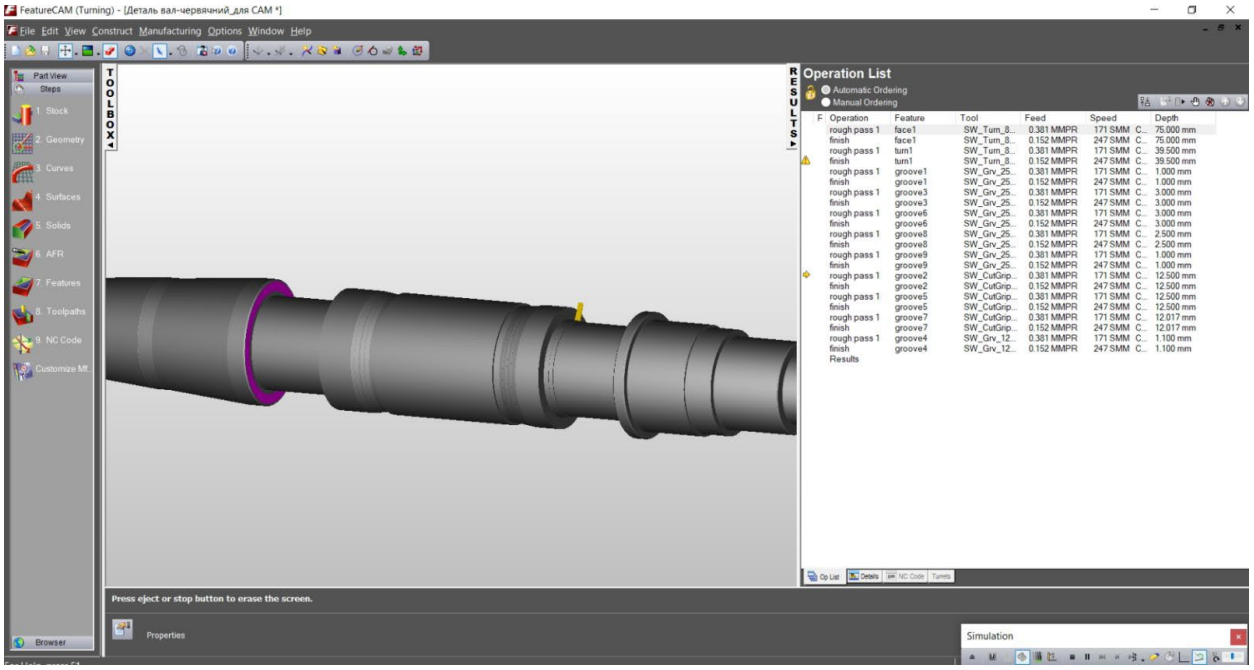


Рисунок 5.9 –Вибір верстату та формування програми для обробки

Переглядаємо симуляцію обробки поверхонь заданим інструментом, перевіряємо на працездатність та якість обраної траєкторії, та інструменту



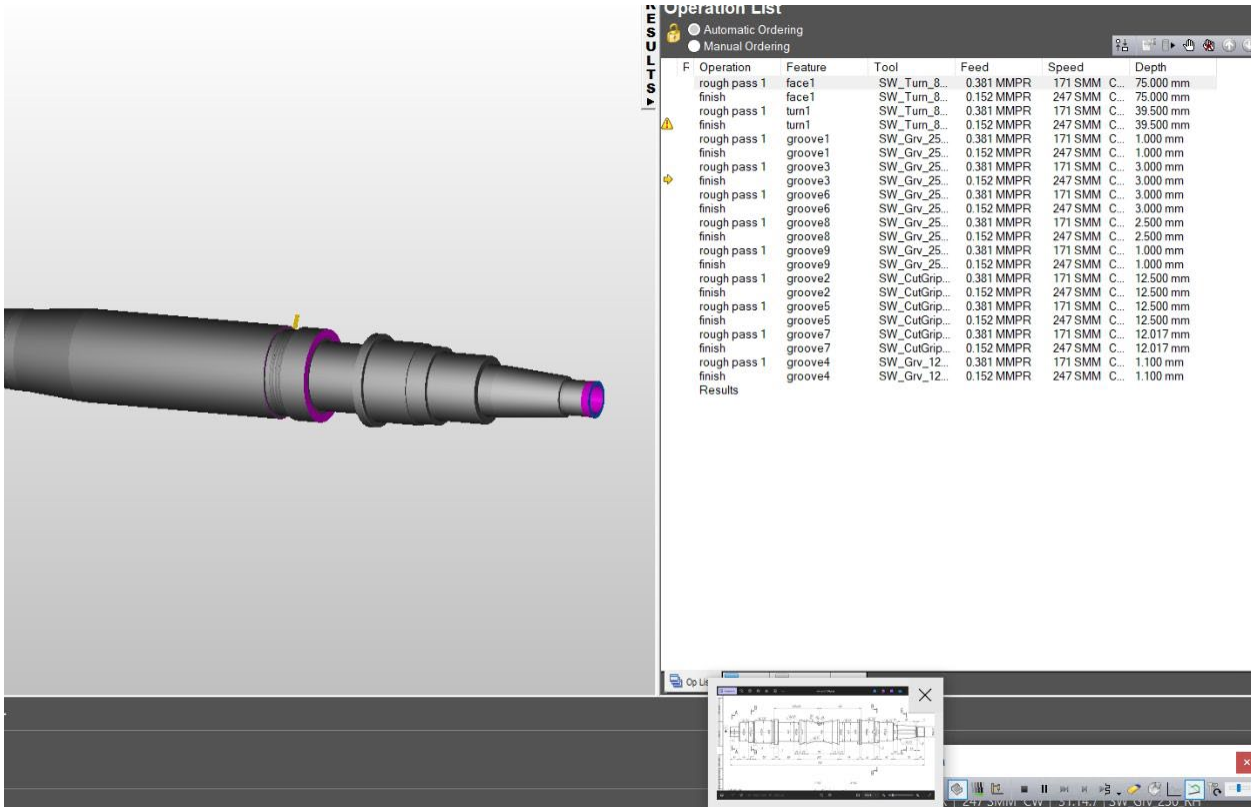


Рисунок 5.10 –Симуляція обробки поверхонь деталі

Формуємо програму для обробки на верстаті з ЧПК

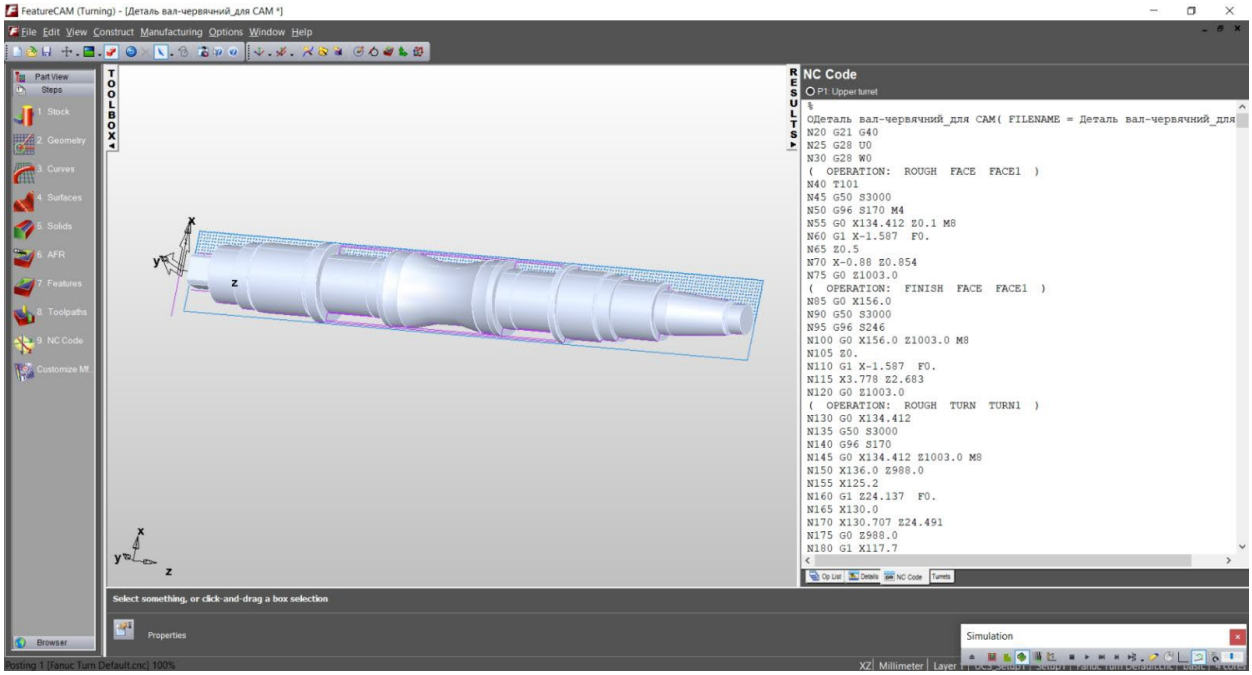


Рисунок 5.11 –Програма для обробки заданої деталі

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Охорона праці та екологія виробництва

Під час виготовлення деталі «Черв'ячний вал» виконують комплекс механічних операцій, зокрема токарну, фрезерувальну, свердлильну та шліфувальну обробку. У процесі роботи на працівників можуть впливати різноманітні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які здатні негативно позначатися як на стані здоров'я персоналу, так і на безпеці виробничого процесу загалом. До основних небезпек належать рухомі та обертові частини верстатного обладнання, гостра й розігріта металева стружка, підвищений рівень шуму та вібрації, а також дія мастильно-охолоджувальних рідин (МОР).

Мастильно-охолоджувальні рідини застосовуються з метою покращення умов різання, зменшення тертя між інструментом і заготовкою, охолодження ріжучого інструменту та підвищення якості обробленої поверхні деталі. Водночас тривалий контакт МОР зі шкірою може викликати подразнення, алергічні реакції або професійні захворювання шкіри. Небезпеку також становлять аерозолі, що утворюються під час роботи обладнання, оскільки їх вдихання може негативно впливати на органи дихання працівника. Окрему увагу слід приділяти правильному збиранню, зберіганню та утилізації відпрацьованих мастильно-охолоджувальних рідин, адже порушення цих вимог може призвести до забруднення ґрунтів, водних ресурсів та навколишнього середовища.

Під час механічної обробки металу утворюється стружка, яка часто має гострі краї та високу температуру. Така стружка становить серйозну небезпеку для працівників, оскільки може спричинити порізи, опіки або травмування очей. Особливо небезпечним є видалення стружки безпосередньо руками або під час роботи обладнання. Тому очищення робочої зони дозволяється виконувати лише після повної зупинки верстата із застосуванням спеціальних щіток, гачків чи інших допоміжних пристроїв.

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно суворо дотримуватись вимог охорони праці та правил експлуатації технологічного обладнання. Працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема захисні окуляри, рукавиці, спецодяг, захисне взуття, а в разі потреби — респіратори або засоби захисту органів слуху. Важливе значення має застосування систем місцевої вентиляції для видалення шкідливих аерозолів, пилу та надлишкового тепла із робочої зони.

З метою зниження негативного впливу виробництва на довкілля необхідно організовувати своєчасне збирання та утилізацію відпрацьованих мастильно-охолоджувальних рідин відповідно до екологічних норм і вимог. Металеву

стружку слід збирати окремо та передавати на вторинну переробку, що сприяє раціональному використанню ресурсів і зменшенню кількості промислових відходів. Комплексне виконання зазначених заходів забезпечує підвищення рівня безпеки праці, збереження здоров'я працівників і мінімізацію негативного впливу виробничої діяльності на навколишнє середовище.

6.2 Оцінка техніко-економічної ефективності вибору токарного обладнання

Оцінка техніко-економічної ефективності виконана методом порівняльного аналізу базового та нового варіантів токарного обладнання, яке використовується під час виконання токарних операцій у технологічному процесі виготовлення деталі «Черв'ячний вал». Метою проведення аналізу є визначення доцільності впровадження сучасного обладнання з числовим програмним керуванням, а також оцінка його впливу на продуктивність праці, собівартість обробки та загальну економічну ефективність виробництва.

Як базовий варіант для порівняння прийнято токарні верстати моделі 16К20Ф3С5, які широко застосовуються у машинобудівному виробництві для виконання токарних операцій. У ролі нового варіанта розглянуто сучасний токарний верстат з числовим програмним керуванням Optimum L520, який характеризується підвищеною точністю обробки, автоматизацією технологічних процесів і більш високою продуктивністю.

Під час проведення техніко-економічних розрахунків враховано основні показники, що впливають на ефективність виробництва. Зокрема, визначено штучний час обробки деталі, час на налагодження та переналагодження обладнання, витрати на оплату праці операторів, витрати на розробку та впровадження керуючих програм для верстатів з ЧПК, а також поточні експлуатаційні витрати, пов'язані з роботою обладнання. Окремо враховано капітальні вкладення, необхідні для придбання та впровадження нового обладнання у виробничий процес.

Розрахунки виконано із застосуванням табличного процесора Microsoft Excel, що дозволило автоматизувати обчислення, підвищити точність отриманих результатів і забезпечити наочність аналізу. Отримані результати подано у вигляді таблиць, графіків та розрахункових схем, що дає можливість провести детальне порівняння базового та нового варіантів обладнання за основними техніко-економічними показниками та обґрунтувати вибір найбільш ефективного рішення для виробництва деталі «Черв'ячний вал».

Вихідні дані		
Дані	Базовий варіант	Новий варіант
	16К20Ф3С5	Optimum L520
Деталі «Вал черв'ячний»		
Річний обсяг випуску деталей N, шт.	3000	
Кількість запусків партій деталей в рік, шт	15	
Тривалість випуску деталей Z, років	1	
Штучний час обробки деталі tшт , хв.	22	13
Час наладки верстата, хв.	28	22
Розряд:		
контролера	5	5
верстатника	4	5
наладчика	4	5
наладчика інструменту	4	5
Кількість кадрів програми, шт.	420	650
Вартість заготовки Sзаг, грн.	76,28	76,28
Середній період стійкості інструменту, хв.	50	100
Середня кількість граней пластинки, шт.	2	4
Коефіцієнт, що враховує питому вагу основного часу в штучному Кт	0,120	0,220
Вартість одного кадру ПК, грн.	7,0	8,9
Вартість розробки ПК Кпк, грн.	3000	5600
Середньочасова зарплата робітника, грн:		
верстатника Нст	31,6	36,5
наладчика Ннал	31,8	37,2
наладчика інструмента Нін	31,1	34
контролера Нк	29,8	29,8

Рисунок 6.1 – Вихідні дані до економічних розрахунків

За результатами проведеного порівняльного аналізу встановлено, що застосування токарного верстата з числовим програмним керуванням Optimum L520 є технічно та економічно обґрунтованим. Використання сучасного обладнання дозволяє підвищити ефективність виконання токарних операцій у

процесі виготовлення деталі «Черв'ячний вал», забезпечити стабільну якість обробки та скоротити тривалість виробничого циклу.

У ході розрахунків визначено, що впровадження верстата з ЧПК сприяє зменшенню поточних виробничих витрат за рахунок скорочення часу обробки деталей, зниження трудомісткості операцій, оптимізації використання матеріальних ресурсів і підвищення продуктивності праці. Крім того, автоматизація процесу обробки дозволяє знизити вплив людського фактора та підвищити точність виготовлення деталей.

Економічна оцінка показала, що річний економічний ефект від упровадження токарного верстата Optimum L520 становить 374 532 грн. Отриманий результат підтверджує доцільність модернізації виробництва та впровадження сучасного обладнання з числовим програмним керуванням. Розрахований строк окупності капітальних вкладень становить 2,3 року, що свідчить про достатньо швидке повернення інвестицій і високу ефективність запропонованого технічного рішення.

Таким чином, використання токарного верстата з ЧПК Optimum L520 у технологічному процесі виготовлення деталі «Черв'ячний вал» забезпечує не лише економічний ефект, але й підвищення конкурентоспроможності виробництва, покращення якості продукції та вдосконалення організації виробничого процесу.

ВИСНОВКИ

У межах виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи здійснено комплексну конструкторсько-технологічну підготовку виробництва деталі «Черв'ячний вал», обґрунтовано вибір технологічного обладнання та параметрів різального інструменту із застосуванням сучасних систем автоматизованого проєктування. У процесі роботи розроблено технологічний процес виготовлення деталі, виконано вибір стандартного та проєктування спеціального різального інструменту, проведено його інженерний аналіз, а також реалізовано моделювання процесів механічної обробки на верстатах з числовим програмним керуванням.

У першому розділі сформульовано технічне завдання та проведено аналіз креслення деталі «Черв'ячний вал». Визначено функціональне призначення деталі в конструкції виробу, досліджено її конструктивні особливості та умови експлуатації. Крім того, виконано розрахунок параметрів точності шпонкового з'єднання, що забезпечує надійність передавання крутного моменту під час роботи механізму.

У другому розділі проаналізовано службове призначення деталі та обґрунтовано вибір матеріалу для її виготовлення. Розглянуто фізико-механічні властивості матеріалу та можливі альтернативні варіанти. На підставі аналізу поверхонь деталі, вимог до точності розмірів і параметрів шорсткості визначено раціональні методи механічної обробки. Для реалізації технологічного процесу підібрано сучасне металорізальне обладнання та наведено його основні технічні характеристики. Зокрема, для виконання операцій обробки рекомендовано використання токарного верстата Optimum L520, фрезерного верстата HAAS VR-8 та шліфувального верстата Supertec G38TH-100CNC. На основі проведеного аналізу розроблено маршрутно-операційний технологічний процес виготовлення деталі.

У третьому розділі здійснено вибір ріжучого та допоміжного інструменту, необхідного для виконання всіх операцій механічної обробки. Для забезпечення заданих показників точності та якості поверхонь підібрано різці різних типів, свердла, фрези, мітчики та шліфувальні круги. Також виконано розрахунок геометричних параметрів спеціального різального інструменту та проведено перевірку його міцності. Відповідно до конструктивних особливостей обладнання та застосованого інструменту обрано необхідне допоміжне оснащення для токарних, фрезерних і свердлильних операцій.

У четвертому розділі виконано проєктування спеціального різального інструменту та проведено його інженерний аналіз. У середовищі SOLIDWORKS створено тривимірну модель інструменту, після чого за допомогою модуля

SOLIDWORKS Simulation здійснено розрахунок його напружено-деформованого стану. Результати аналізу підтвердили достатній рівень міцності та жорсткості конструкції, а також її відповідність умовам експлуатації.

П’ятий розділ присвячено моделюванню та програмуванню технологічних операцій механічної обробки деталі. Із використанням програмного комплексу Autodesk FeatureCAM побудовано траєкторії руху інструменту та виконано віртуальну симуляцію процесу обробки на верстатах з ЧПК. Отримані результати дали змогу перевірити коректність розроблених керуючих програм, оцінити орієнтовну тривалість виконання операцій і виявити потенційні ризики виникнення аварійних ситуацій під час виготовлення деталі.

У шостому розділі розглянуто питання охорони праці, екологічної безпеки виробництва та техніко-економічного обґрунтування запропонованих технологічних рішень. Проведені розрахунки підтвердили економічну доцільність використання сучасного обладнання з ЧПК та ефективність розробленого технологічного процесу в умовах серійного виробництва.

Загалом результати виконаної роботи свідчать про можливість практичного впровадження запропонованих технічних і технологічних рішень у виробництво. Їх використання сприятиме підвищенню продуктивності праці, забезпеченню необхідної точності та якості виготовлення деталей, скороченню виробничих витрат і подальшому вдосконаленню технологічних процесів у машинобудуванні.

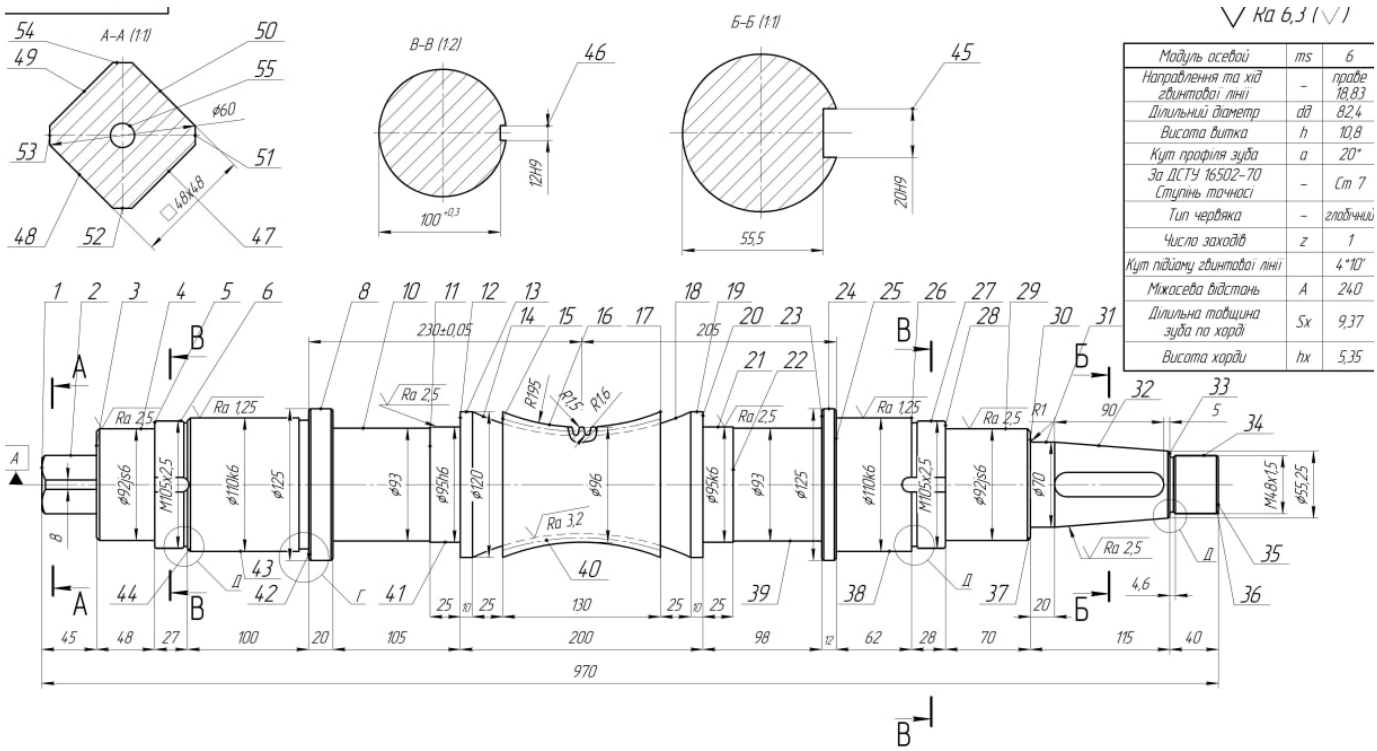
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Токарна обробка: Кат. та техн. керівництво. SECO, 2020. 808 с.
2. Обробка отворів: Кат. та техн. керівництво. SECO, 2020. 493 с.
3. Фрезерування: Кат. та техн. керівництво. SECO, 2009. 626 с.
4. Нарізування різі: Кат. та техн. керівництво. SECO, 2020. 288 с.
5. Абразивний інструмент: Кат. та техн. керівництво. ANDRE ABRASIVE ARTICLES, 2020. 89 с.
6. ДСТУ ГОСТ 14953-80. Зенківки конічні. Технічні умови. 1982. 19с.
7. Допоміжний інструмент: Кат. та техн. керівництво. SECO, 2020. 364с.
8. Довідник технолога-машинобудівника. У 2-х т. С74 Т. 2 / Під ред. А. Г. Косилової та Р. К. Мещерякова. - 4-те вид., Перероб. та дод. - М.: Машинобудування, 1986. 495 с.
9. Нефьодов Н., Осипов К. Збірник задач і прикладів з різання металів і різального інструменту : Навч. посі б. 5-те вид. М. : "Машинобудівництво", 1990. 447 с.6
10. 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.
11. ДСТУ 7806:2015 Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови. Вид. офіц. Київ: 2016. 50 с.
12. Каталог SECO «Turning» 2020. 808 с.
13. Каталог EROGLU «Різцетримачі» 2020. 24 с.
14. Sandvik Coromant. URL: https://www.sandvik.coromant.com/en-us/product-details?c=2F342-0800-200-PD%20%20%20P2BM&m=8351758
15. Sandvik Coromant. URL: https://www.sandvik.coromant.com/en-us/product-details?c=930-B30-P-08-088&m=7864354
16. Каталог Luga Abrasiv «Абразивний інструмент» 2015. 298 с.
17. ДСТУ ISO 866:2018 Свердла центрувальні для свердління центрових отворів без запобіжних фасок. Тип А
18. 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.

ДОДАТКИ

ДОТАТОК 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 «Черв'ячний вал» та обґрунтування вибору комплексу технологічного обладнання й параметрів різального інструменту з використанням САПР - технологій

Виконав здобувач гр. ПМ-22 _____ Максим ЄФІМЕНКО
(підпис)

Керівник КБР _____ Олена БОНДАР
(підпис)

Нормоконтроль _____ Василь НЕЧАЄВ
(підпис)

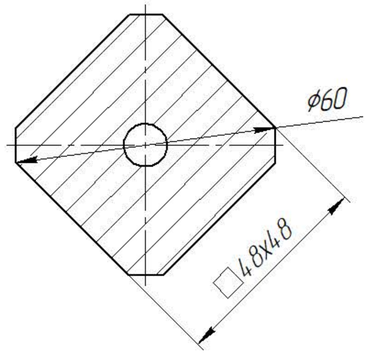
Завідувач кафедри _____ Антон РЯЗАНЦЕВ
(підпис)

Кривий Ріг
2026 р.

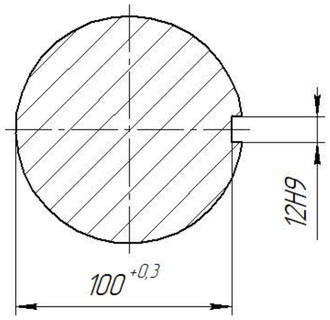
КНУ.КБР.131.26.1-08.ЧВ

Ra 6,3 (√)

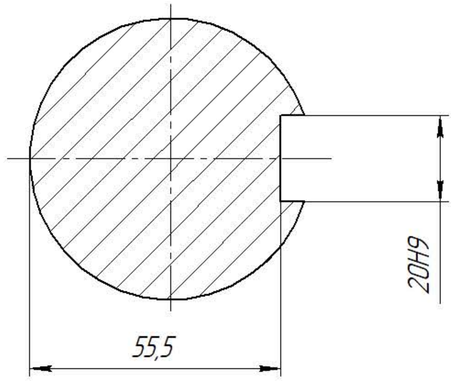
А–А (1:1)



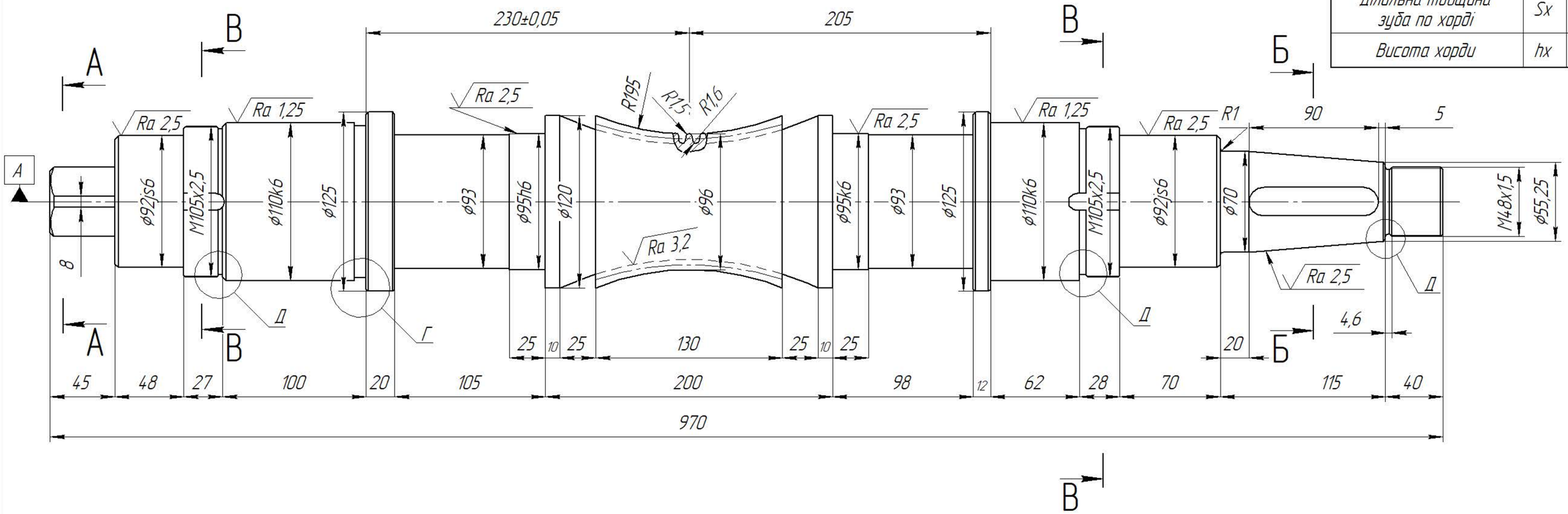
В–В (1:2)



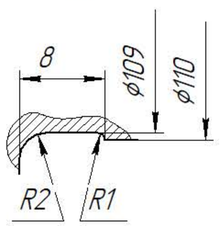
Б–Б (1:1)



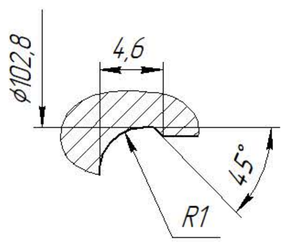
Модуль осевой	ms	6
Направлення та хід гвинтової лінії	–	праве 18,83
Ділильний діаметр	dд	82,4
Висота витка	h	10,8
Кут профіля зуба	a	20°
За ДСТУ 16502-70 Ступінь точності	–	Ст 7
Тип червяка	–	глобічний
Число заходів	z	1
Кут підйому гвинтової лінії		4°10′
Міжосева відстань	A	240
Ділильна товщина зуба по хорді	Sx	9,37
Висота хорди	hx	5,35



Г (1:5)



Д (1:5)



1. HB 197...229;
2. Термообробка ниток червяка HRc 50...54.
3. Гострі кромки притупити.
4. Центрові отвори B6,3 ДСТУ ISO 2540:2018
5. Невказані граничні відхилення: H14, h14, IT14/2;

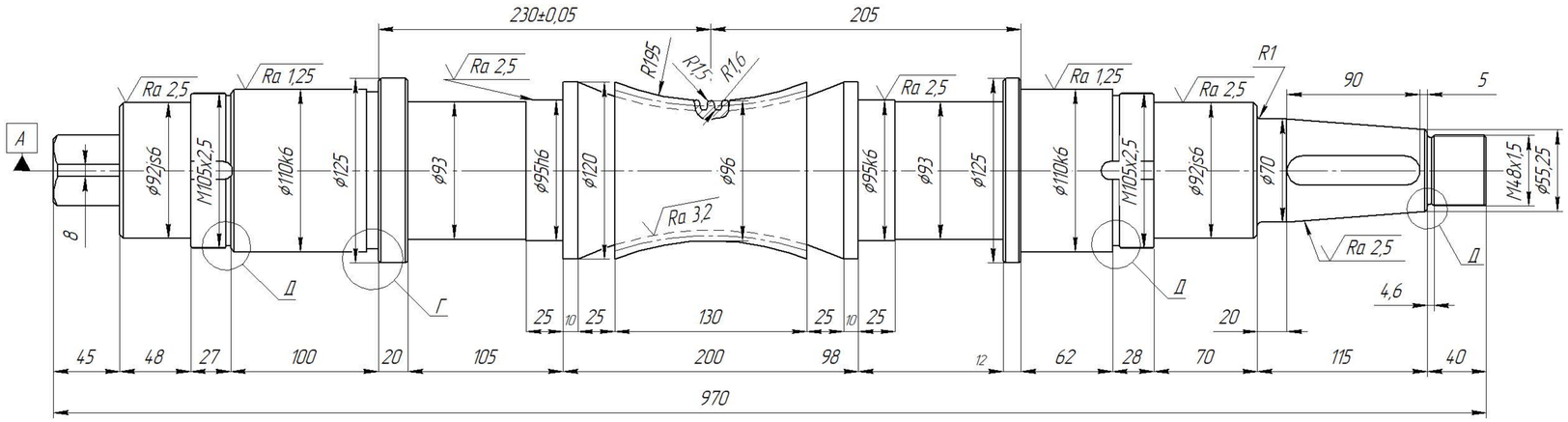
					КНУ.КБР.131.26.1-08.ЧВ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Черв'ячний вал	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Ефіменко					51,3	1:2,5
Пров.		Бондар				Лист	Листов 1	
Т.контр.								
Н.контр.		Нечаєв			Сталь 35ХМА ДСТУ 7806:2015	Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Утв.		Рязанцев						

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

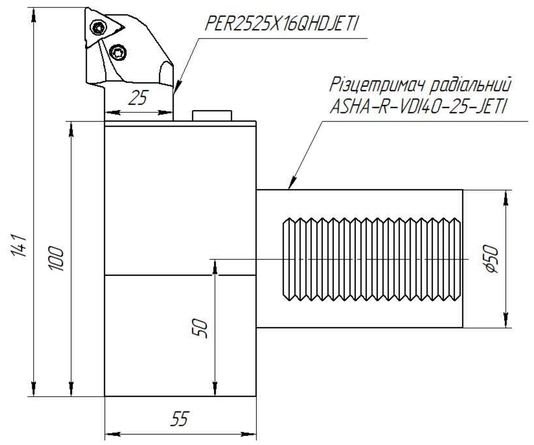
Копировал | Формат А2

КНУ.КБР.131.26.1-08.ВІН

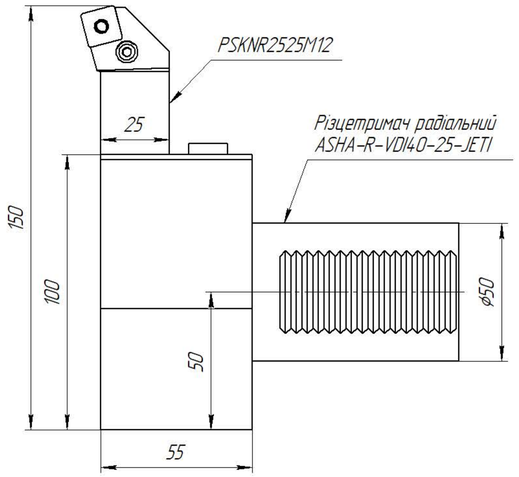
Операція токарна, верстат з ЧПК моделі Оптимум L520



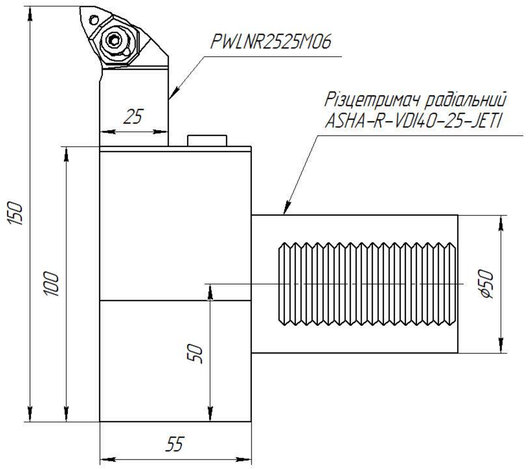
Позиції 6, 27, 34



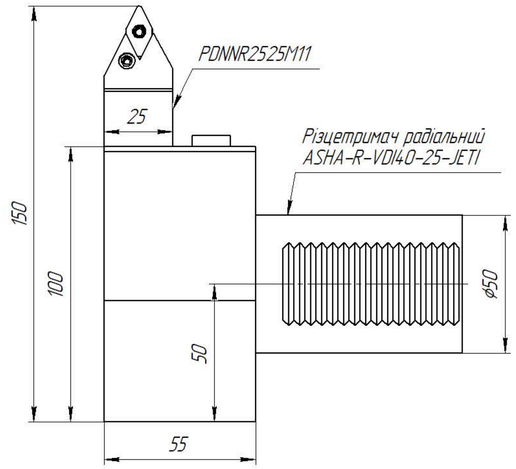
Позиції 1, 3, 5, 11, 12, 15, 17, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 30, 33, 35, 42, 44



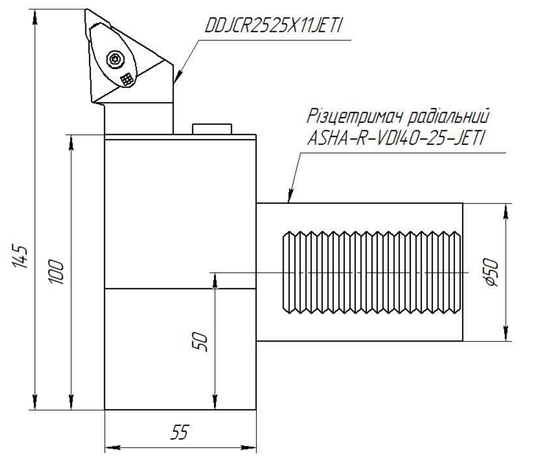
Позиції 2, 4, 6, 8, 10, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 24, 27, 29, 31, 32, 34, 37, 38, 39, 41, 43



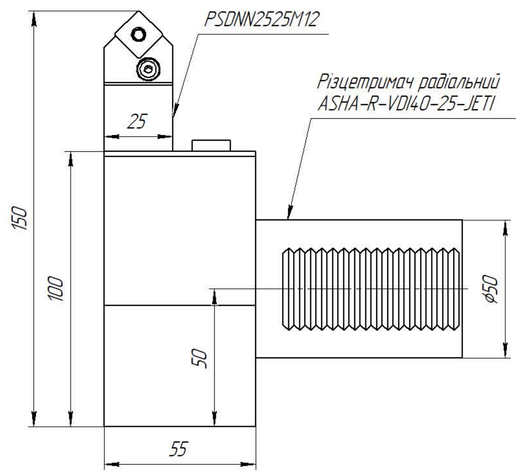
Позиції 7,9



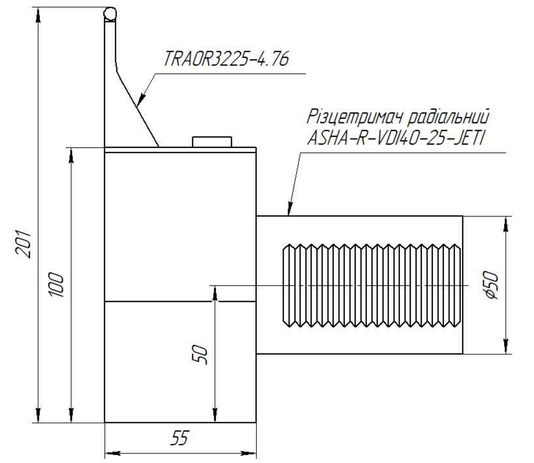
Позиції 14, 16, 18



Позиції 2, 4, 6, 8, 10, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 24, 27, 29, 31, 32, 34, 37, 38, 39, 41, 43



Позиція 40



Типи різців	Шифр державки	Шифр пластини	Пластина	Матеріал пластини	Геометричні параметри пластини,мм	Геометричні параметри державки, мм
Підрізний різець	PSKNR2525M12	SNMG120412-M5 SNMG120408-MF2		TP1501 TP2501	L=12,7мм, S=4,76мм, D1=5,15мм	H=25мм, B=25мм, LF=150мм, WF=32мм, LH=23мм
Прохідний різець	PWLNR2525M06	WNMG060408-M5		TP1501	IC=9,53мм, L=6,5мм, S=4,76мм, D1= 3,81мм	H=25мм, B=25мм, LF=150мм, WF=32мм, LH=21мм
Прохідний різець	PSDNN2525M12	SNMG120408-MF2		TP2501	L=12,7мм, S=4,76мм, D1=5,15мм	H=25мм, B=25мм, LF=150мм, WF=12,5мм, LH=28мм
Контурний різець	DDJCR2525X11JETI	DCMT11T308-MF2		TP2501	IC=9,53мм, L=11,6мм, S=3,97мм, D1= 4,5мм	H=25мм, B=25мм, LF=33мм, WF=32,2мм, HF=25мм, OAL=117мм.
Різець для нарізування різьби	PER2525X16QHDJETI	16ERAG55		CP500	Крок-0,5-3,0, Витків-48-8, PDY-1,1мм, PDX=1,5мм, RE=0,08	H=25мм, B=25мм, LF=111мм, WF=32мм, LH=30мм
Канавковий різець	PDNNR2525M11	DNMU110408-M5 DNMU110408-MF2		TP1501 TP2501	IC=9,53мм, L=11,6мм, S=4,76мм, D1= 3,81мм	H=25мм, B=25мм, LF=150мм, WF=12,5мм, LH=30мм
Різець для нарізування глобоїдного черв'яка	TRAOR3225-4.76	RCGS4.76-46		Сплав 890 CP200	INSD=4,76мм, S=6,35мм	H=32мм, B=25мм, LF=201мм, WF=25,4мм

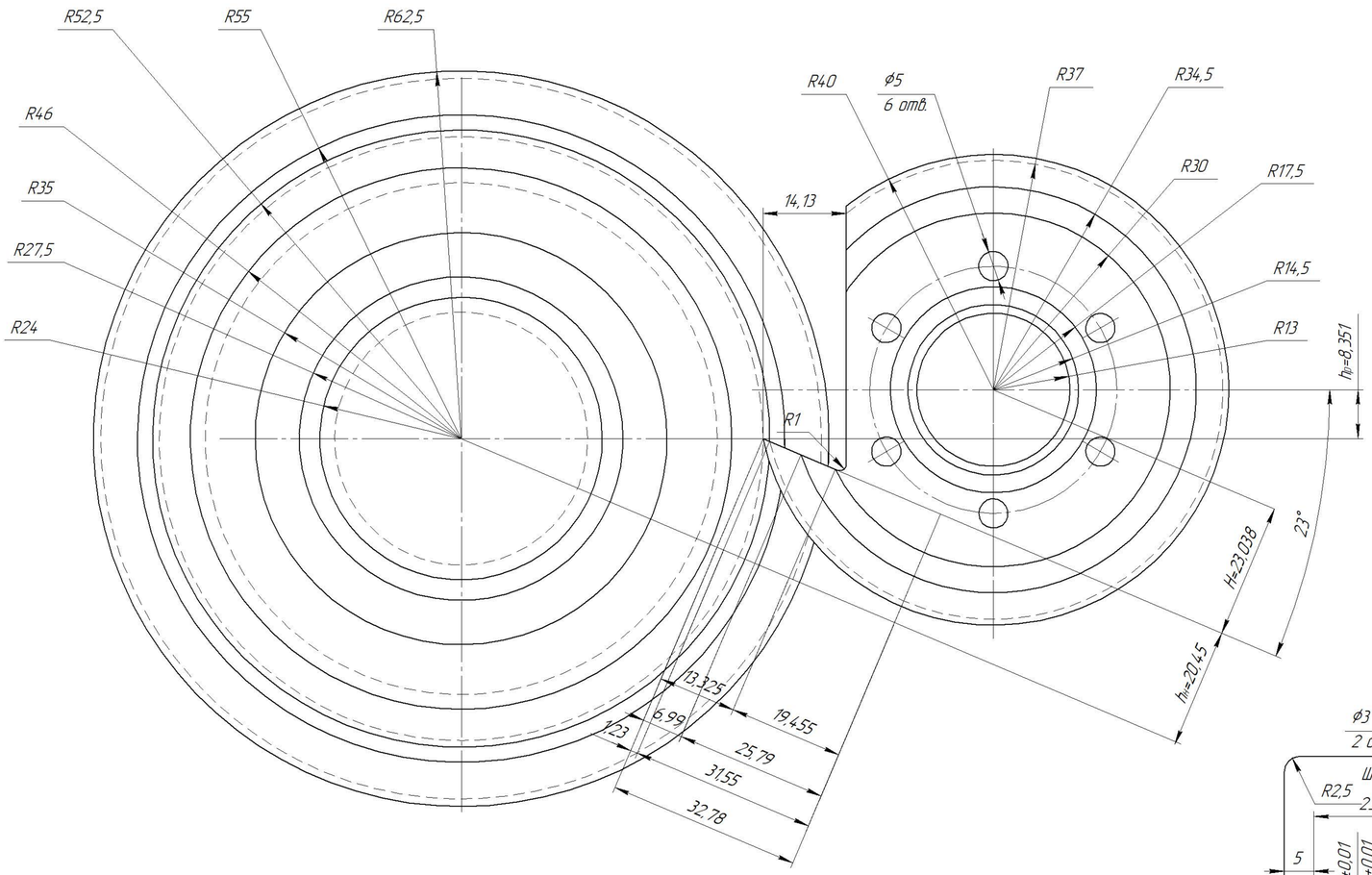
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КНУ.КБР.131.26.1-08.ВІН		
Разраб.		Єфіменко			Верстатно-інструментальне налагодження	Лит.	Масса	Масштаб 1:1
Пров.		Бондар				Лист	Листов 1
Т.контр.						Каф. ТМ гр. ПМ-22	
Н.контр.		Нечаєв					
Утв.		Рязанцев					

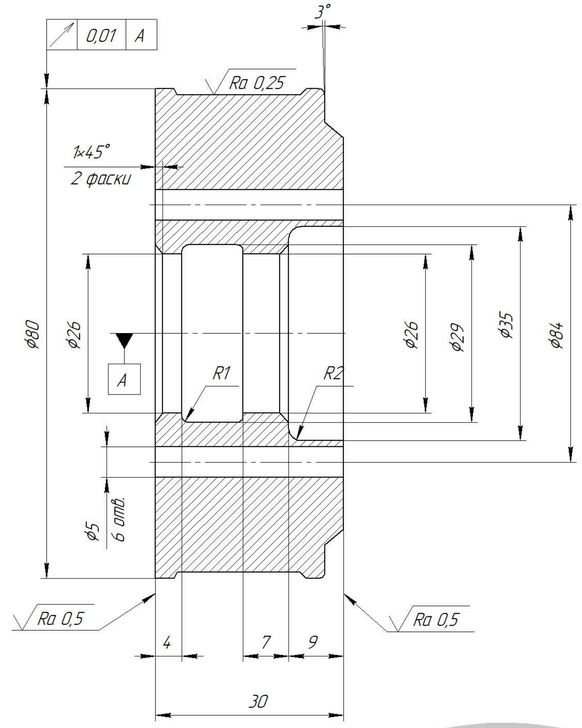
Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

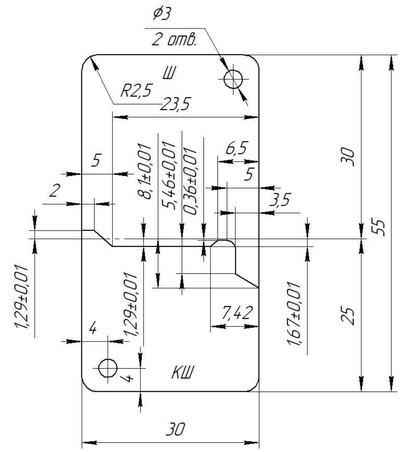
Копировал | Формат А1

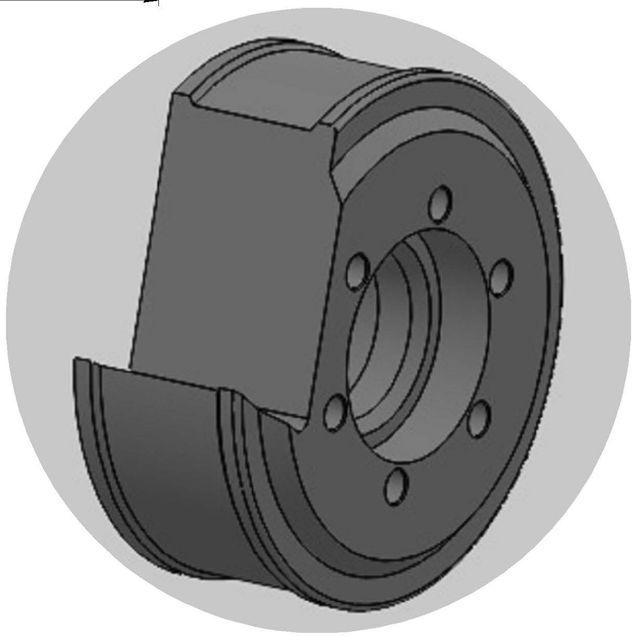
КНУ.КБР.131.26.1-08.РФК

Ra 1,6 (√)

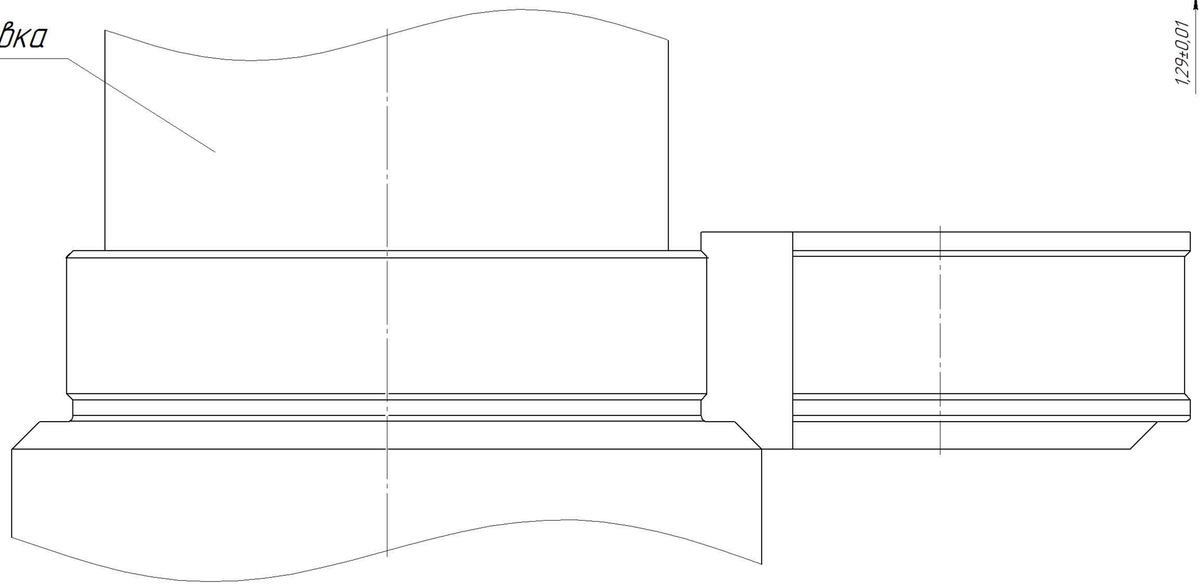








Заготовка



1. Твердість в ріжучій частині 62...66 HRC, у корпуса 41...46 HRC.
2. Матеріал шаблона й контршаблона – сталь ХГС.
3. Твердість у шаблона й контршаблона 62...65 HRC.
4. Розміри контурних точок профілю різця отримані корекційним розрахунком з відхиленням до 0,001 мм.
5. Невказані граничні відхилення розмірів ±IT14/2.

					КНУ.КБР.131.26.1-08.РФК			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Різець фасонний круглий	Лит.	Масса	Масштаб 2:1
Разраб.		Єфіменко				Лист	Листов 1	
Пров.		Бондар						
Т.контр.						Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Н.контр.		Нечаєв						
Утв.		Рязанцев						

Копировал

Формат А1

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

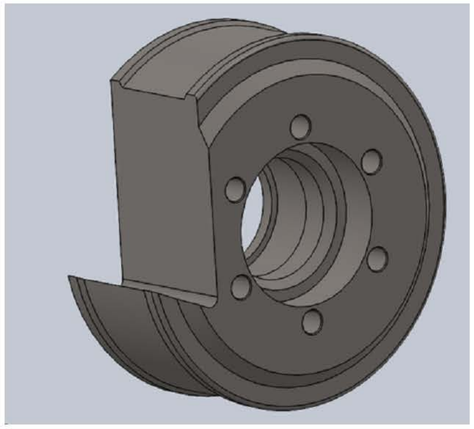


Рисунок 1. - Побудована 3D-модель різця

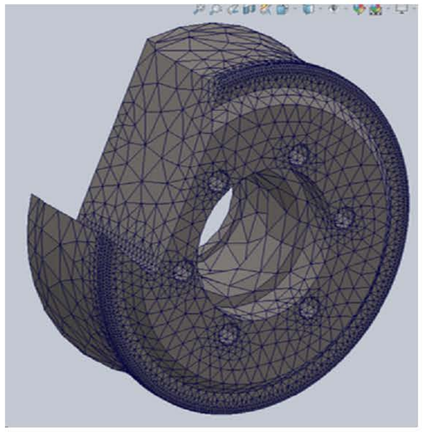


Рисунок 2. - Сітка кінцевих елементів моделі

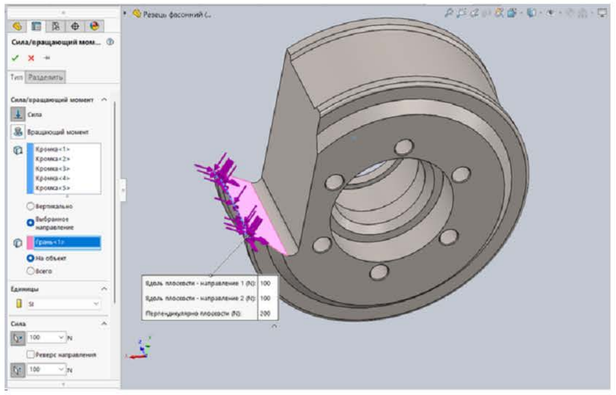


Рисунок 3. - Прикладання навантаження на ріжучу частину інструменту

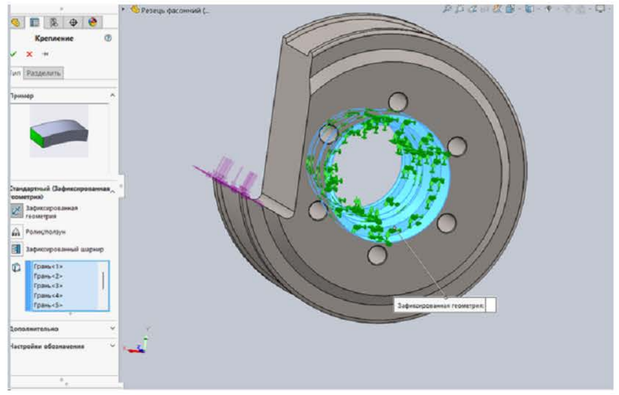


Рисунок 4. - Прикладання навантаження від закріплення інструменту

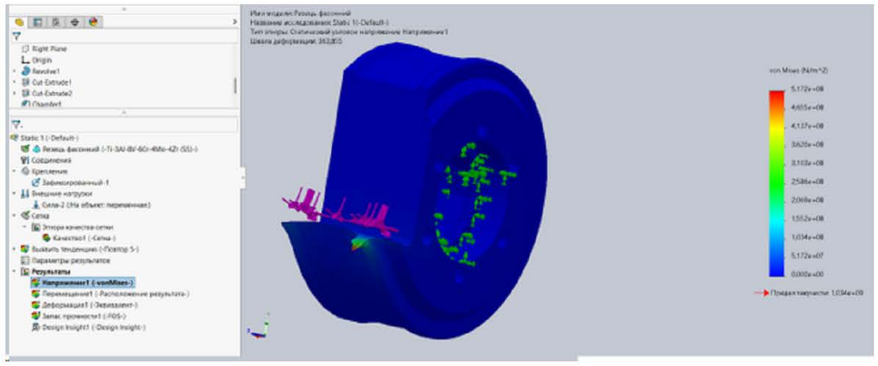


Рисунок 5. - Епюри статичного аналізу. Статичні вузлові напруження.

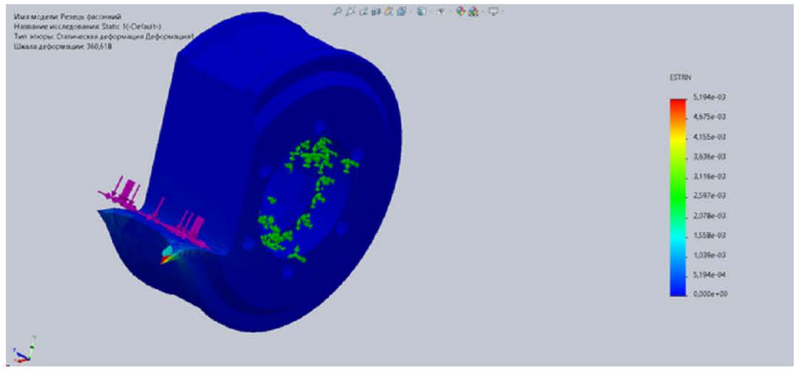


Рисунок 7. - Епюри статичного аналізу. Статична деформація.

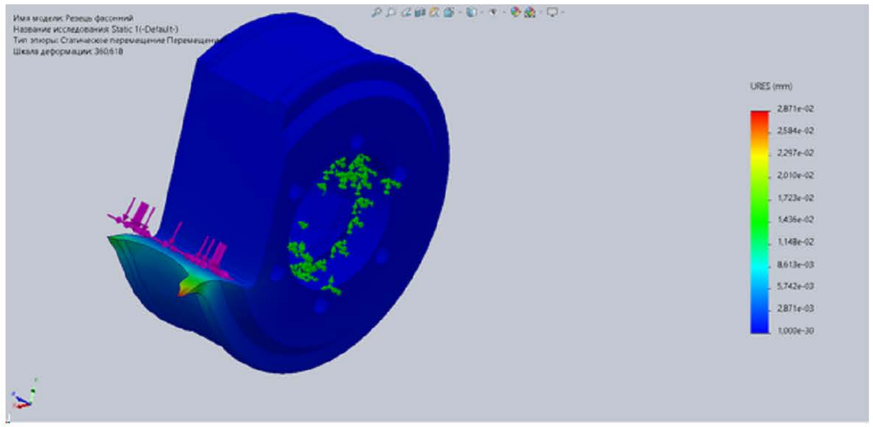


Рисунок 6. - Епюри статичного аналізу. Статичні переміщення.

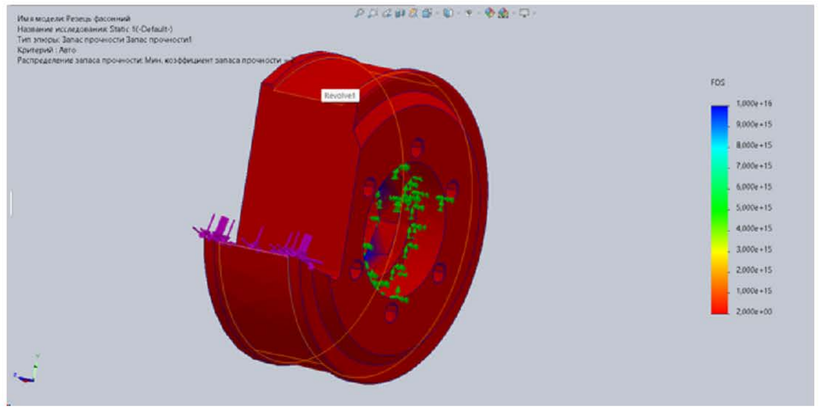


Рисунок 8. - Епюри запасу міцності.

					КНУ.КБР.131.26.1-08.ІАСРІ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Єфіменко						
Пров.		Бондар				Лист	Листов 1	
Т.контр.						Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Н.контр.		Нечаєв						
Утв.		Рязанцев						

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Копировал | Формат А2

Рисунок 1.- Тривимірна модель деталі

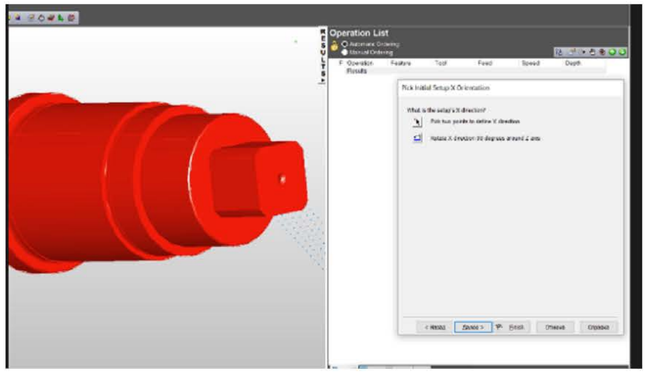


Рисунок 2. - Першочергове налаштування, вибір орієнтації по вісі X

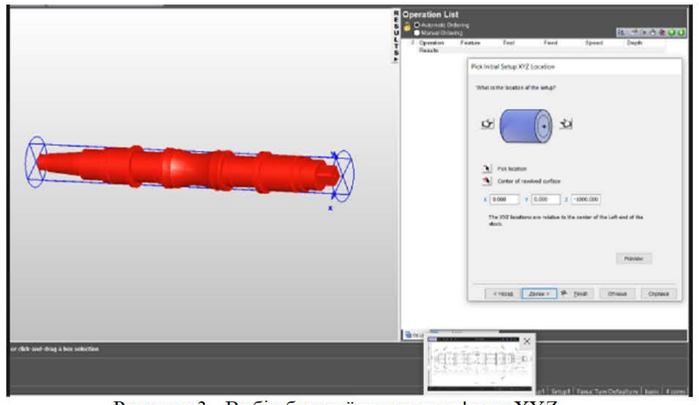


Рисунок 3 - Вибір базової точки прив'язки XYZ

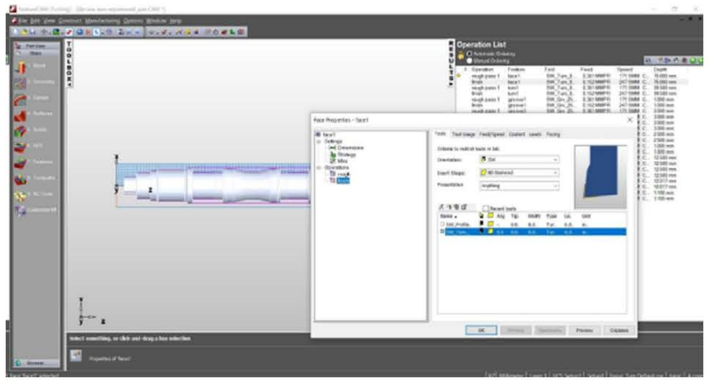


Рисунок 4 - Вибір інструменту

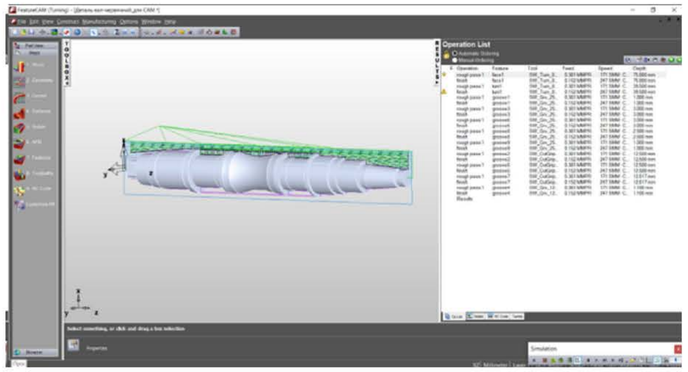


Рисунок 5. - Траєкторія обробки

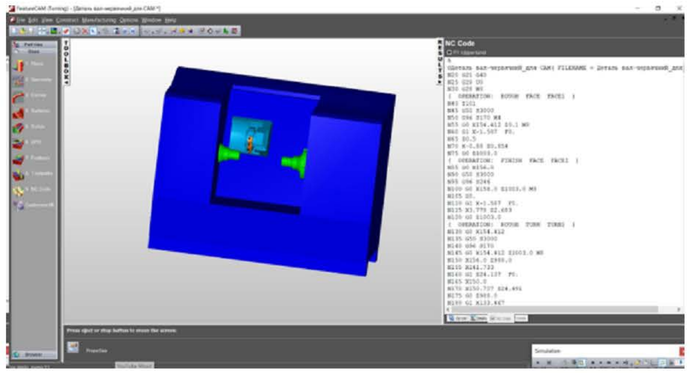


Рисунок 6. - Вибір верстату та формування програми для обробки

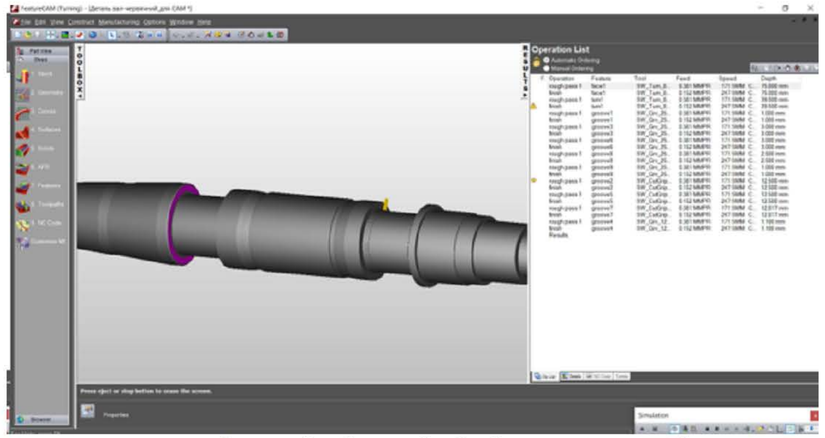


Рисунок 7. - Симуляція обробки поверхонь деталі

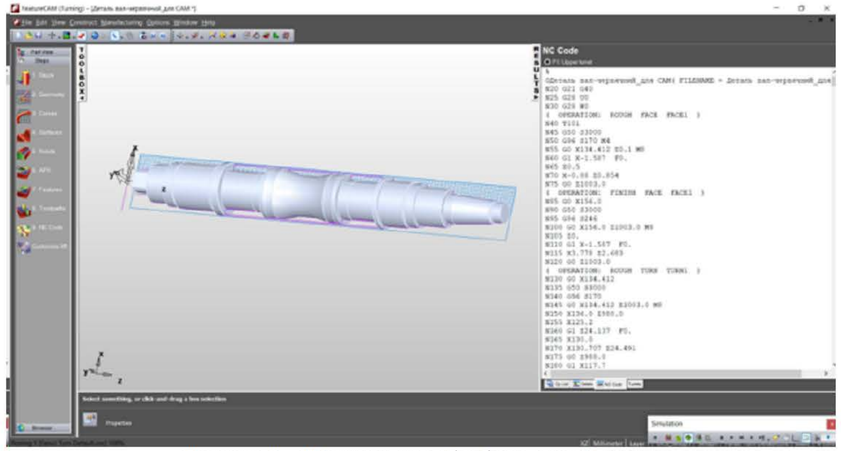


Рисунок 8. - Програма для обробки заданої детал

					КНУ.КБР.131.26.1-08.МПМО			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Моделювання процесів механічної обробки в FeatureCAM	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Ефіменко						
Пров.		Бондар				Лист	Листов 1	
Т.контр.						Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Н.контр.		Нечаєв						
Утв.		Рязанцев						

Копировал Формат А2

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.