

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Вал» та обґрунтування параметрів різального інструменту з використанням САПР-технологій

Виконав: здобувач групи ПМ-23ск
Багрій Я.О.

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

Кривий Ріг
2026 р.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ**

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення
деталі «Вал» та обґрунтування параметрів різального
інструменту з використанням САПР-технологій

Виконав здобувач гр. ПМ-23ск

(підпис)

Ярослав БАГРІЙ

Керівник КБР

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

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-23ск Ярослава Багрія Олександровича

Тема: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Вал» та обґрунтування параметрів різального інструменту з використанням САПР-технологій

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

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

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

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

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі. 2. Технологічна підготовка виробництва деталі. 3. Вибір основного та допоміжного інструменту відповідно до міжнародних стандартів. 4. Проектування та інженерний аналіз різального інструменту. 5. Моделювання та програмування операцій механічної обробки. 6. Організаційно-економічна підготовка виробництва.

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Вал. 2. Верстатно-інструментальне налагодження. 3. Комбіноване свердло. 4. Інженерний аналіз спеціального різального інструменту. 5. Моделювання процесу обробки.

6. Календарний план:

№ з/п	Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1.	Розробка та узгодження технічного завдання	25.02.2026
2.	Технічне завдання та аналіз вихідних даних	01.03.2026
3.	Призначення об'єкту виробництва	03.03.2026
4.	Аналіз технологічності деталі.	10.03.2026
5.	Креслення деталі (А1-А4).	18.03.2026
6.	Вибір та обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі.	24.03.2026
7.	Розробка технологічного маршруту обробки деталі.	05.04.2026
8.	Технологічна підготовка виробництва виробу	12.04.2026
9.	Техніко-економічний аналіз вихідних даних для обробки деталі	19.04.2026
10.	Розрахунок і вибір режимів різання, нормування технологічних операцій	25.04.2026
11.	Конструкторська підготовка виробництва	01.05.2026
12.	Проектування технологічного оснащення	04.05.2026
13.	Креслення верстатного та контрольного пристосування	08.05.2026
14.	Розробка та креслення об'єднаного верстатно-інструментального налагодження (А1-А2)	12.05.2026
15.	Моделювання та програмування операцій механічної обробки	15.05.2026
16.	Креслення змодельованого процесу обробки (А1-А2)	22.05.2026
17.	Організаційно-економічна підготовка виробництва.	27.05.2026
18.	Висновки	01.06.2026
19.	Оформлення РПЗ	07.06.2026
20.	Попередній захист	11.06.2026

Дата видачі завдання: «_____» _____ 2026 р.

Завдання видав керівник КБР _____

/Рязанцев А.О./

Завдання отримав
здобувач освіти _____

/Багрій Я.О./

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
					Документація		
	A2		1	КНУ.КБР.131.26.2-1ПЗ	Пояснювальна записка	82	
Справ. №					Креслення		
	A2		2	КНУ.КБР.131.26.2-1В	Вал	1	
	A1		3	КНУ.КБР.131.26.2-1ВН	Верстатно-інструментальне налагодження	1	
	A2		4	КНУ.КБР.131.26.2-1КС	Комбіноване свердло	1	
	A2		5	КНУ.КБР.131.26.2-1АСРІ	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	1	
	A2		6	КНУ.КБР.131.26.2-1МПМО	Моделювання процесу механічної обробки	1	
Підп. і дата							
Інв. № дубл.							
Взам. інв. №							
Підп. і дата							
Інв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КНУ.КБР.131.26.2-01.ВМ	
	Разраб.	Багрії				Відомість матеріалів КБР	
	Пров.	Рязанцев					
	И.контр.	Нечаєв					
	Утв.	Рязанцев					
	Лит.	Лист	Листов				
Н		1	Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск				

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до КБР містить: стор 82, рисунків 55, таблиць 33, листів графічної частини 5.

Метою кваліфікаційної роботи є проектування комплексної конструкторсько-технологічної підготовки виробництва деталі «Вал» із впровадженням сучасних САПР-технологій. Особлива увага приділяється автоматизації проектування багатоперехідної обробки відповідальних поверхонь та науковому обґрунтуванню параметрів різального інструменту для досягнення заданої точності (ІТ) та зносостійкості у виробках зі сталі 30ХМА.

Предметом дослідження є методики моделювання технологічного циклу, алгоритми вибору оптимальних послідовностей механічної обробки та розрахунків геометричних параметрів різальної частини інструментів, що забезпечують максимальну продуктивність при обробці легованих сталей за допомогою систем автоматизованого проектування (САПР).

У сучасній інженерії забезпечення надійності силових передач безпосередньо залежить від точності виготовлення валів. Враховуючи складну геометрію даної деталі (наявність посадкових шийок за квалітетом ІТ6, шпонкових пазів та нарізних отворів), критичним завданням стає розробка техпроцесу, що мінімізує похибки базування. Використання хромомолібденової сталі 30ХМА потребує специфічного підходу до вибору інструментальних матеріалів та режимів різання для запобігання термічним деформаціям та забезпечення шорсткості Ra 1,6 мкм.

Тема роботи – «Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Вал» та обґрунтування параметрів різального інструменту з використанням САПР-технологій» – спрямована на інтеграцію цифрових методів проектування для скорочення термінів підготовки виробництва та підвищення якості готових виробів.

Впровадження САПР дозволяє не лише автоматизувати розробку документації, а й провести симуляцію стратегій обробки (наприклад, для фрезерування шпонкових пазів та свердління отвору 10Н7), що гарантує бездефектне виробництво відповідальних деталей машинобудування.

ВАЛ, СТАЛЬ 30ХМА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ, САПР, МОДЕЛЮВАННЯ, РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ.

					<i>КНУ.КБР.131.26.2-01.P</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Багдрий</i>			<i>Реферат</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Рязанцев</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нечаев</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>					
					<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
					<i>Кафедра ТМ, гр. ПМ-23ск</i>		

ABSTRACT

The explanatory note to the CBD contains: page 82, figures 74, tables 14, sheets of the graphic part 5.

The purpose of the qualification work is to design a comprehensive design and technological preparation for the production of the part "Shaft" with the introduction of modern CAD technologies. Special attention is paid to the automation of the design of multi-pass processing of critical surfaces and the scientific substantiation of the parameters of the cutting tool to achieve the specified accuracy (IT) and wear resistance in products made of 30XMA steel.

The object of the study is the systematic process of technological preparation for the manufacture of stepped shafts in modern conditions of machine-building production.

The subject of the study is the methods of modeling the technological cycle, algorithms for selecting optimal sequences of mechanical processing and the calculation of the geometric parameters of the cutting part of the tools, which ensure maximum productivity when processing alloy steels using computer-aided design systems (CAD).

In modern engineering, ensuring the reliability of power transmissions directly depends on the accuracy of shaft manufacturing. Given the complex geometry of this part (the presence of landing necks of quality IT6, keyways and threaded holes), the critical task is to develop a technological process that minimizes positioning errors. The use of 30XMA chromium-molybdenum steel requires a specific approach to the selection of tool materials and cutting modes to prevent thermal deformations and ensure a roughness of Ra 1.6 μm .

The topic of the work – “Design and technological preparation for the manufacture of the part “Shaft” and justification of the parameters of the cutting tool using CAD technologies” – is aimed at integrating digital design methods to reduce the time for production preparation and improve the quality of finished products.

The implementation of CAD allows not only to automate the development of documentation, but also to simulate processing strategies (for example, for milling keyways and drilling a 10H7 hole), which guarantees defect-free production of critical mechanical engineering parts.

SHAFT, STEEL 30XMA, TECHNOLOGICAL PROCESS, MACHINING ACCURACY, CAD, MODELING, CUTTING TOOL.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.Р	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі	11
1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних	11
1.2 Призначення об'єкту виробництва, як елементу вузла, механізму машини з характеристикою будови, принципів роботи, характеристикою кінематичних та силових ланцюгів та передач машини.....	12
1.3 Розрахунок на міцність при стисненні та зсуві шпонкового з'єднання.	15
2 Технологічна підготовка виробництва деталі.....	17
2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів заміни.....	17
2.2 Аналіз технічних вимог та якості поверхонь деталі.....	18
2.3 Технічний контроль робочого креслення.....	20
2.4 Проектування технологічного процесу виготовлення вала та вибір обладнання.....	21
3 Вибір основного та допоміжного інструменту відповідно до міжнародних стандартів	30
3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі	30
3.2 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі.	31
3.3 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту	40
3.4 Обґрунтування та вибір типорозмірів допоміжного інструменту	42
3.5 Компоновка інструментального комплексу та розробка інструментального налагодження на технологічну операцію деталі.....	48
4 Проектування та інженерний аналіз різального інструменту	51
4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту	51
4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту.....	57
5 Моделювання та програмування операцій механічної обробки	64
5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора.....	64
5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм	65
6 Організаційно-економічна підготовка виробництва	70
6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників	70
6.2 Охорона праці та екологія виробництва.....	82
Висновки	84
Список використаних джерел	86

					<i>КНУ.КБР.131.26.2-01.3</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Зміст</i>		
Розроб.		<i>Багдрий</i>					
Перевір.		<i>Рязанцев</i>					
Реценз.							
Н. Контр.		<i>Нечаєв</i>					
Затверд.		<i>Рязанцев</i>					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						8	81
					<i>Кафедра ТМ, гр. ПМ-23ск</i>		

ВСТУП

Машинобудування є фундаментом індустріальної могутності та економічного суверенітету будь-якої сучасної держави. Для України, в умовах повоєнного відновлення та інтеграції до європейського промислового простору, рівень розвитку цієї галузі стає визначальним фактором національної безпеки. Сучасні виклики вимагають від вітчизняних підприємств не просто підтримки виробництва, а радикальної зміни асортименту на користь високотехнологічної продукції з високою доданою вартістю, що дозволить зменшити імпортозалежність та підвищити конкурентоспроможність на світовому ринку.

Науково-технічний прогрес в Україні сьогодні характеризується інтенсивним впровадженням концепції «Індустрії 4.0». Пріоритетним напрямком є створення систем високопродуктивних машин: від енергоефективних турбін та сільськогосподарської техніки нового покоління до спеціалізованого обладнання оборонно-промислового комплексу. Особливої актуальності набувають адитивні технології, методи електрофізичної обробки та роботизовані комплекси, що здатні працювати з мінімальним залученням людського ресурсу, що є критично важливим в умовах демографічних викликів сучасності.

У реаліях нинішнього виробництва головними критеріями якості стають:

1. Надійність та довговічність конструкцій при експлуатації в екстремальних режимах.
2. Енергоефективність, що досягається шляхом оптимізації маси деталей та використання новітніх матеріалів (таких як сталь 30ХМА).
3. Прецизійна точність, яка забезпечує повну взаємозамінність вузлів та стабільну роботу складних механізмів.

Одним із ключових факторів відродження українського машинобудування є повна автоматизація та цифровізація технологічних процесів. Це особливо важливо для ділень, де досі переважає малоефективна ручна праця. Перехід до «розумного виробництва» дозволяє не лише мінімізувати вплив людського фактору на якість, а й суттєво знизити собівартість одиниці продукції.

					<i>КНУ.КБР.131.26.2-01.B</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Багрії</i>			<i>Вступ</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Рязанцев</i>					
<i>Реценз.</i>		<i>П.І.Б.</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>					
					<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
					<i>Кафедра ТМ, гр. ПМ-23ск</i>		

Сучасний конструкторсько-технологічний підхід в Україні базується на широкому використанні спеціалізованого програмного забезпечення.

Застосування CAD/CAM/CAE-систем (таких як SolidWorks, Autodesk Fusion 360 або FeatureCAM) дозволяє реалізувати концепцію цифрових двійників виробу. Це дає змогу проводити віртуальні випробування деталі ще до її фізичного виготовлення, скорочуючи цикл підготовки виробництва в рази та гарантуючи відповідність найсуворішим міжнародним стандартам.

					<i>КНУ.КБР.131.26.2-01.В</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єктом розробки у даній бакалаврській кваліфікаційній роботі є технологічний процес виготовлення деталі «Вал», що є ключовим компонентом «Важкого двоступінчастого горизонтального циліндричного редуктора РМ-1000».

Вихідними даними для проектування є робоче креслення деталі, технічні вимоги до її експлуатації та задана річна програма випуску, що становить 1500 одиниць. Такий обсяг виробництва, згідно з попередніми розрахунками, відповідає крупносерійному типу виробництва, що вимагає застосування високопродуктивного обладнання та спеціалізованого оснащення.

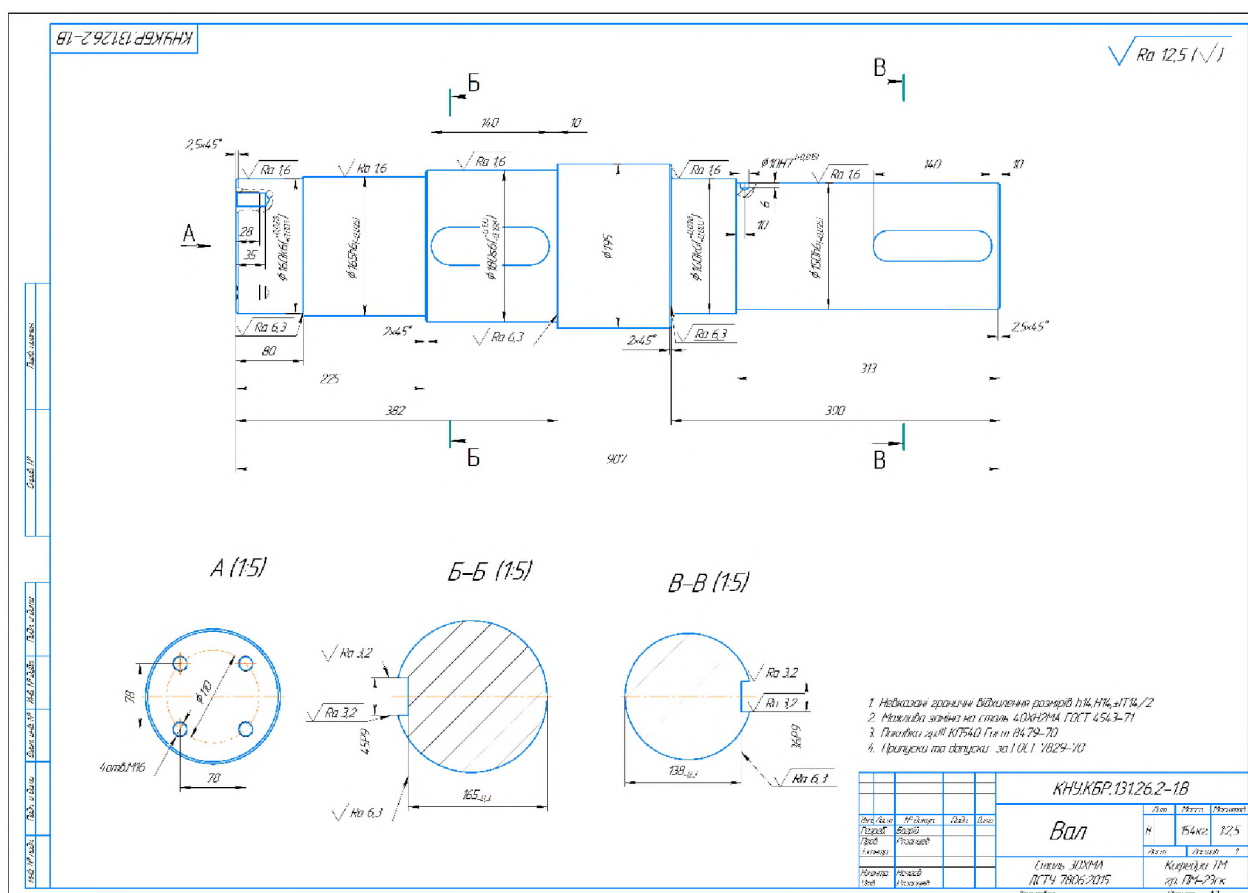


Рисунок 1.1 – Креслення Валу

					КНУ.КБР.131.26.2-01.01.АСПМ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Багрій			Аналіз службового призначення машини вузла та деталі		Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Рязанцев							
Реценз.									
Н. Контр.		Нечаєв			Кафедра ТМ, гр. ПМ-23ск				
Затверд.		Рязанцев							

На рисунку 1.2 представлена тривимірна модель ведучого вала, розроблена в середовищі САПР, яка візуалізує складну сходящасту геометрію деталі та розташування основних конструктивних елементів шпонкових пазів, посадкових шийок та нарізних отворів на торці вала.

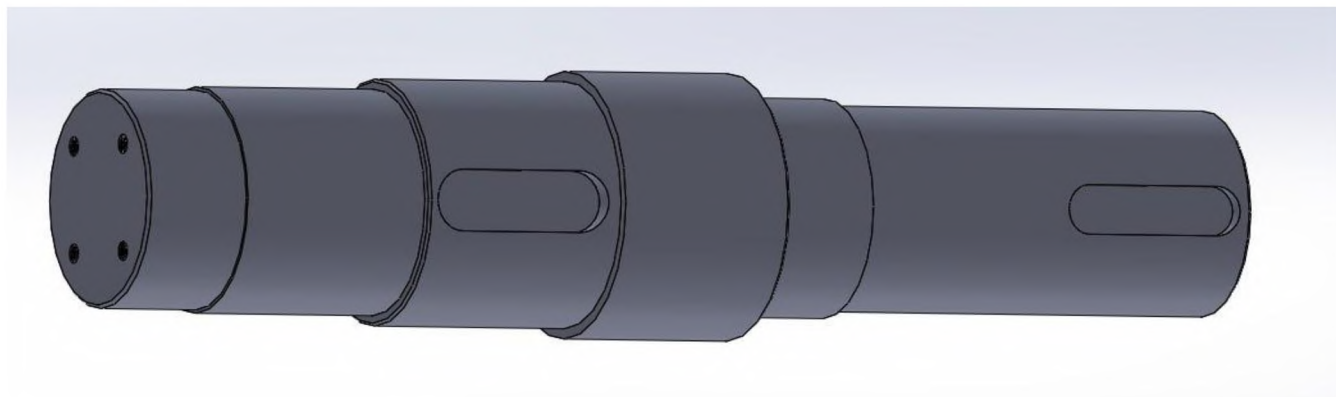


Рисунок 1.2 – 3D модель вала ведучого циліндричного редуктора

У ході виконання роботи було сформульовано технічне завдання на проектування раціонального та економічно обґрунтованого технологічного процесу виготовлення вала. Враховуючи, що деталь виготовляється з легованої сталі 30ХМА, особлива увага приділена забезпеченню високої точності посадкових поверхонь під підшипники та зубчасте колесо.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються наступні завдання:

1. Комплексний аналіз конструктивних параметрів та службового призначення вала у складі редуктора;
2. Розробка оптимального маршруту механічної обробки;
3. Розрахунок та обґрунтування послідовності технологічних операцій, вибір режимів різання;
4. Вибір високоефективного різального інструменту, що забезпечить задану шорсткість робочих поверхонь $Ra\ 1,6$;
5. Використання сучасних САПР-систем для автоматизації підготовки технологічної документації та моделювання процесів обробки;
6. Розрахунок техніко-економічних показників для підтвердження ефективності запропонованих рішень.

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

					КНУ.КБР.131.26.2-01.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вал є ключовим високонавантаженим силовим елементом вхідної ланки важкого двоступінчастого горизонтального циліндричного редуктора РМ-1000, який входить до складу головного привода робочої кліті №17 вальцювального стану. Головне призначення цієї деталі полягає у надійній передачі номінального крутного моменту від привідного електродвигуна через муфтове з'єднання безпосередньо до першої зубчастой пари редуктора.

Редуктор серії РМ-1000 розроблений спеціально для роботи у тривалих або повторно-короткочасних режимах із постійними та змінними навантаженнями, що ідеально відповідає умовам прокатних і вальцювальних цехів. З огляду на специфіку вальцювального виробництва, на робочий інструмент та елементи привода діють суттєві знакозмінні, циклічні, а також жорсткі ударні навантаження. Пікові зусилля виникають безпосередньо у моменти захоплення металевої заготовки прокатними валками та під час її інтенсивної пластичної деформації.

Маючи значні габаритні розміри (загальна довжина $L=907$ мм та максимальний діаметр $\varnothing 195$ мм), вал працює в умовах складного напружено-деформованого стану. Він зазнає одночасної дії високих крутних моментів (часто з реверсивним включенням, що характерно для редукторів типу РМ) та значних згинальних зусиль, які генеруються в зоні зачеплення зубчастих коліс.

Конструкція вала має забезпечувати не лише міцність, але й високу згинальну та крутильну жорсткість. Сходинчастий профіль дозволяє точно базувати підшипники кочення та швидкохідну шестерню, запобігаючи недопустимих пружних прогинів валопроводу. Це критично важливо для збереження правильної плями контакту в зубчастому зачепленні редуктора РМ-1000, мінімізації вібрацій та забезпечення його довговічності.



Рисунок 1.3 – Циліндричний редуктор серії РМ-1000

					КНУ.КБР.131.26.2-01.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні параметри циліндричного редуктора РМ-1000 наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики важкого циліндричного редуктора:

Типорозмір редуктора	Номинальне передатне число	Номинальне радіальне навантаження на тихохідному валу, Н	Номинальний крутний момент на тихохідному валу, Нм	Об'єм мастила, л	Вага, кг	ККД
1	2	3	4	5	6	7
РМ-1000	8;10;12,5; 16;20;22; 4;31,5;40; 50	128000	18300	55	2122	0,98

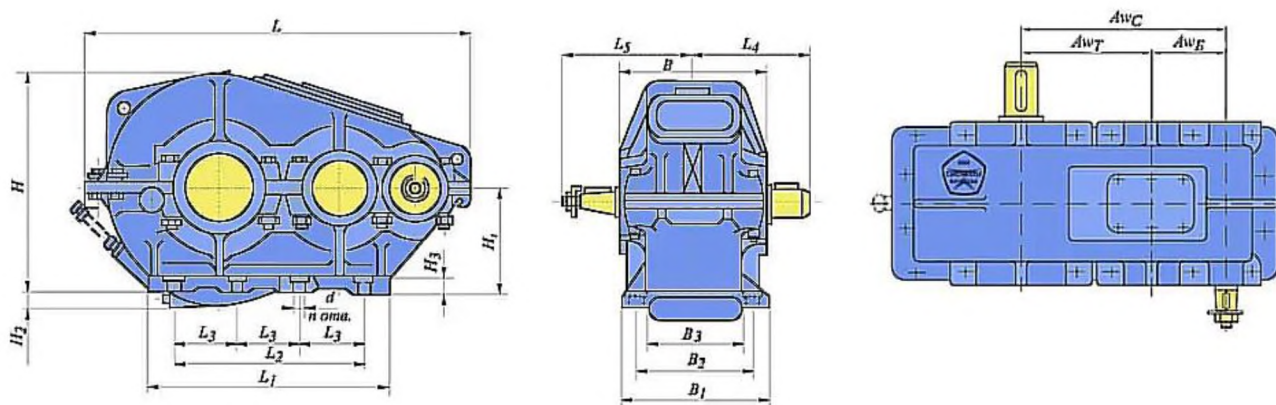


Рисунок 1.4 – Креслення з габаритними та приєднувальними розмірами відповідно до технічного паспорта

Таблиця 1.2 – Габаритні розміри важкого циліндричного редуктора:

awc	awt	awb	H	H1	H2	H3	L	L1	L2
1000	600	400	965	400	200	40	1896	1350	1050
L3	L4	L5	B	B1	B2	B3	d	n, шт	
350	695,5	550	660	660	590	472	32	8	

Редуктор РМ-1000 застосовується у приводах важкого промислового устаткування (магістральні стрічкові конвеєри, елеватори, металургійне обладнання). Завдяки використанню сталі 30ХМА з подальшим покращенням, вал здатний витримувати значні динамічні навантаження та пускові моменти.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.01.АСПМ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Силовий потік передається від вхідного кінця вала через шпонкове з'єднання на зубчастий вінець шестерні. Опори вала, розташовані на значній відстані одна від одної, вимагають високої точності співвісності посадкових поверхонь для запобігання вібраціям.

1.3 Розрахунок на міцність при стисненні та зсуві шпонкового з'єднання.

Основним критерієм оцінки ефективності шпонкових з'єднань виступає їх здатність витримувати навантаження. З'єднання з призматичними шпонками перевіряють на міцність при стисненні та зсуві.

Для виконання розрахунку з'єднання надаються такі вихідні дані:

- Діаметр на якому розташований шпонковий паз – 160 мм;
- Обертаючий момент – 18300 Нм;
- Матеріал шпонки - Сталь 40Х;
- Матеріал вал-шестерні – Сталь 30ХМА;
- Матеріал колеса – Сталь 45 Х;
- Довжина маточини – 140 мм.

На основі наведених даних необхідно підібрати відповідну шпонку та здійснити перевірку її міцності на стискання та зсув.

Спершу необхідно визначити розміри поперечного перерізу призматичної шпонки відповідно до стандарту СТ СЕВ 189-75. Для діаметра вал-шестерні $d = 160$ мм рекомендованими розмірами шпонки є: ширина $b = 36$ мм, висота $h = 15$ мм.

Також слід використати довідкове значення коефіцієнта $K = 7$. Довжину шпонки l визначаємо як на 20 мм меншу за довжину маточини колеса, після чого звіряємо зі стандартним рядом довжин шпонок. У результаті вибираємо робочу довжину шпонки $l_p = 140$ мм (оскільки $130 - 20 = 120$ мм). Таким чином, обраний типорозмір шпонки становить $36 \times 15 \times 120$ мм. Умову міцності на зминання визначають за формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \times T}{d \times l_p \times K} \leq [\sigma_{зм}] \quad (1.1)$$

де T – обертовий момент;

d – діаметр вала;

l_p – робоча довжина шпонки;

					КНУ.КБР.131.26.2-01.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

К – висота шпонки, що працює на зминання.

Здійснюємо перевірку обраної шпонки на міцність при зминанні:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \times 18300}{160 \times 120 \times 7} \leq 38,3 \text{ Мпа}$$

$$38,3 \text{ Мпа} \leq [\sigma_{зм}] = 120 \text{ Мпа}$$

Умова виконана.

Умови міцності на зріз визначаються за формулою:

$$\tau_{зм} = \frac{2 \times T}{d \times l_p \times b} \leq [\tau_{зм}] \quad (1.2)$$

Здійснюємо перевірку обраної шпонки, міцність на зріз:

$$\tau_{зм} = \frac{2 \times 18300}{160 \times 120 \times 36} \leq 52,9 \text{ Мпа}$$

$$52,9 \text{ Мпа} \leq [\tau_{зм}] = 80 \text{ Мпа}$$

Умова виконана.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін

Вал ведучий циліндричного редуктора є відповідальною складовою частиною Важкого двоступінчастого горизонтального циліндричного редуктора РМ-1000, що використовується у загальному машинобудуванні для передачі крутного моменту від джерела енергії до виконавчих органів механізму, а також для підтримки розташованих на ньому деталей зубчастих коліс, шківів, муфт.

Основне призначення – вал забезпечує жорстку фіксацію та точне базування встановлених на нього елементів трансмісії, сприймаючи сукупні навантаження від сил зачеплення та ваги деталей.

Він забезпечує:

Передачу номінального крутного моменту при заданих частотах обертання;

Високу точність обертання та мінімальне радіальне/осьове биття поверхонь;

Сприйняття та перерозподіл згинальних моментів та осьових зусиль;

Стабільність взаємного розташування деталей на валу за рахунок точного виконання посадкових шийок та шпонкових (або шліцьових) пазів.

Умови експлуатації: деталь працює в умовах циклічних знакозмінних навантажень згин з обертанням, кручення, а також можливого впливу підвищених температур. Поверхні шийок підшипників піддаються інтенсивному тертю та зношуванню.

Вимоги до конструкції: висока втомна міцність та опірність деформаціям; достатня жорсткість для недопущення критичних прогинів; висока точність геометричних параметрів якості ІТ6–ІТ7 та низька шорсткість робочих поверхонь.

Даний вал виготовляється зі сталі 30ХМА згідно з ДСТУ 7806:2015. Сталь 30ХМА – це конструкційна легована хромомолібденова сталь, яка характеризується високою міцністю, витривалістю та здатністю працювати при температурах до 450–500 °С без суттєвої втрати механічних властивостей.

Дані про матеріал деталі наводяться у таблицях 2.1 та 2.2.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.02.ТПВД			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Технологічна підготовка виробництва деталі	Лім.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Багрії						
Перевір.		Рязанцев						
Реценз.								
Н. Контр.		Нечаєв						
Затверд.		Рязанцев						
						Кафедра ТМ, гр. ПМ-23ск		

Таблиця 2.1 – Хімічний склад Сталі 38 ХГН

ХІМІЧНИЙ ЕЛЕМЕНТ	%
Вуглець (C)	0.26 - 0.33
Сіліцій (Si)	0.17 - 0.37
Марганець (Mn)	0.4 – 0.7
Хром (Cr)	0.8-1.1
Нікель (Ni)	До 0.3
Купрум (Cu)	до 0,3
Фосфор (P)	не більше 0,026
Сірка (S)	не більше 0,025
Молибден (Mo)	0.15 - 0.25

Таблиця 2.2 – Механічні властивості Сталі 45

Сортамент	Розмір, мм	σ_b , МПа	S_b МПа	δ_b , %	Ψ , %	Термообробка
Прутки, ДСТУ 7806:2015	Ø15	930	930	12	50	Загартування та відпуск

2.2 Аналіз технічних вимог та якості поверхонь деталі

Аналіз точності та параметрів якості поверхонь є фундаментальним етапом проектування технологічного процесу. Для забезпечення заданої надійності вала при експлуатації, вибір методів обробки базується на комплексному врахуванні квалітетів точності, параметрів шорсткості та взаємного розташування поверхонь (биття, співвісність).

Враховуючи, що деталь виготовляється зі сталі 30ХМА, технологічна послідовність методів обробки будується за принципом поступового уточнення розмірів. Від чорнового точення до фінішних операцій шліфування, що дозволяє компенсувати залишкові напруження та деформації після термічної обробки.

Для систематизації аналізу та зручності подальшого розрахунку припусків, кожній елементарній поверхні вала присвоєно порядковий номер. Схема нумерації поверхонь деталі наведена на рисунку 2.1.

Обґрунтована послідовність технологічних методів обробки, яка гарантує досягнення всіх параметрів якості згідно з вимогами робочого креслення, представлена у формі зведеної таблиці 2.3.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

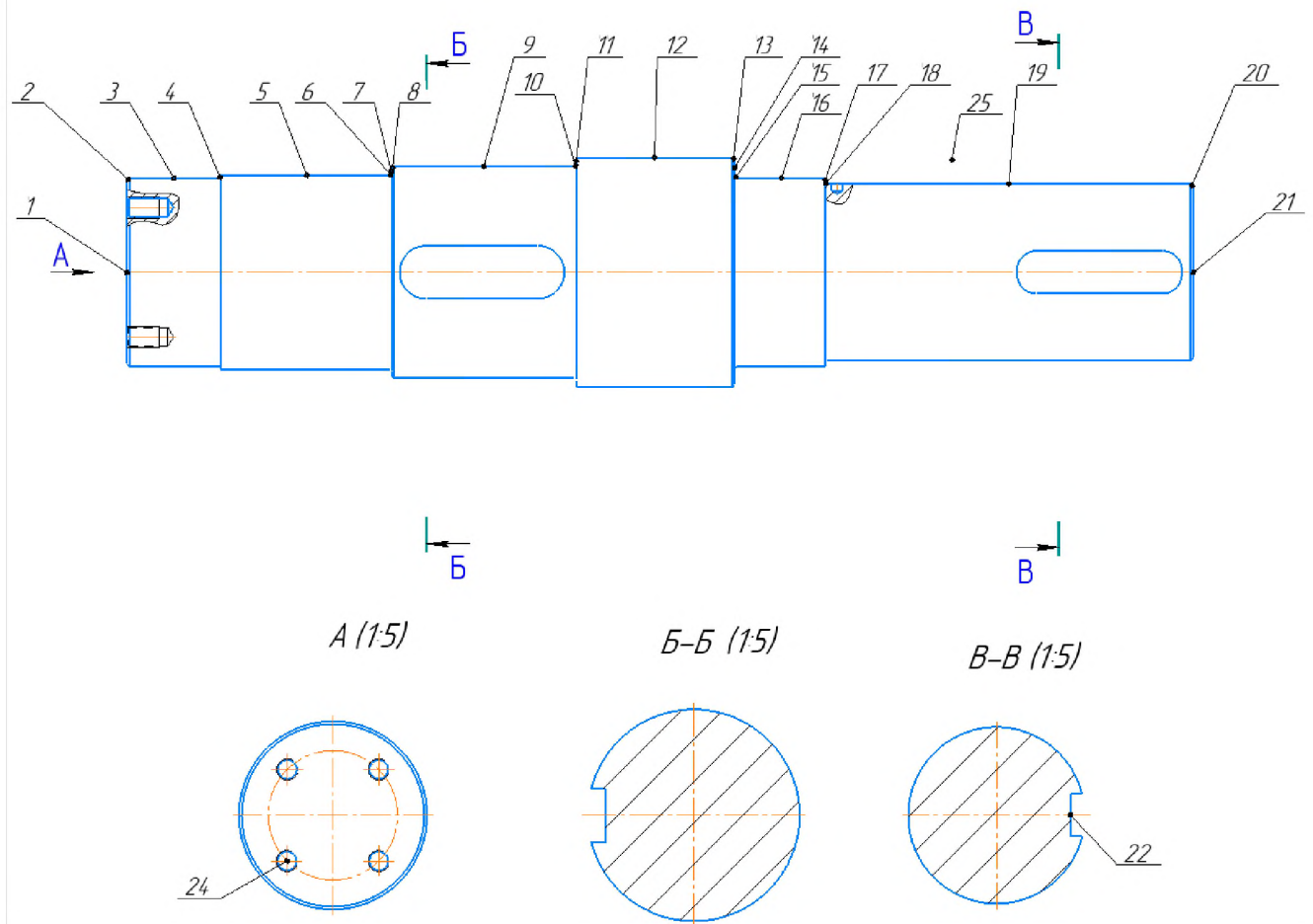


Рисунок 2.1 – Схема нумерації поверхонь деталі «Вал»

Таблиця 2.3 – Технологічні методи з обробки поверхонь деталі

№ п.	Розмір, мм	Технологічні методи обробки	Допуск, IT	Шорсткість Ra, мкм
1	2	3	4	5
1,21	L970	Підрізання торця чорнове	h14	12,5
2	L2,5x45°	Точіння фаски	h14	12,5
3	Ø160k6	Точіння чорнове Пів чистове Чистове Шліфування	h14 h11 h8 k6	12,5 6,3 3,2 1,6
4	R2,5	Точіння галтелі Півчистове точіння галтелі	h14 h11	12,5 6,3
5	Ø165h6	Точіння чорнове Пів чистове Чистове Шліфування	h14 h11 h8 h6	12,5 6,3 3,2 1,6
6	R2	Точіння галтелі	h14	12,5
7	L225	Чорнове підрізання торців	h14	12,5

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КНУ.КБР.131.26.2-01.02.ТПВД

Арк.

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
8	L2x45°	Точіння фаски	h14	12,5
9	Ø180s6	Точіння чорнове Пів чистове Чистове Шліфування	h14 h11 h8 s6	12,5 6,3 3,2 1,6
10	R2	Точіння галтелі Півчистове точіння галтелі	h14 h11	12,5 6,3
11	L382	Чорнове підрізання торців Півчистове підрізання торців	h14 h11	12,5 6,3
12	Ø195	Точіння чорнове	h14	12,5
13	L2x45°	Точіння фаски	h14	12,5
14	L390	Чорнове підрізання торців Півчистове підрізання торців	h14 h11	12,5 6,3
15	R2,5	Точіння галтелі Півчистове точіння галтелі	h14 h11	12,5 6,3
16	Ø160 k6	Точіння чорнове Пів чистове Чистове Шліфування	h14 h11 h8 k6	12,5 6,3 3,2 1,6
17	L313	Чорнове підрізання торців	h14	12,5
18	R2	Точіння галтелі	h14	12,5
19	Ø150h6	Точіння чорнове Пів чистове Чистове Шліфування	h14 h11 h8 h6	12,5 6,3 3,2 1,6
20	L2,5x45°	Точіння фаски	h14	12,5
22	R23, B45P9, L140, H12	Фрезерування пазу	P9	6,3
23	R18, B36P9, L140, H15	Фрезерування пазу	P9	6,3
24	4отв. M16	Свердління Різьбофрезерування	h11 h8	6,3 3,2
25	Ø9.8 Ø10H7	Свердління Розгортання	H8 H7	3,2 1,6

2.3 Технічний контроль робочого креслення

Деталь «Вал» представлена на робочому кресленні, що виконане на аркуші формату А2 у масштабі 1:2,5. Графічна частина включає головний вигляд з необхідними поперечні перерізами, два поперечні перерізи (Б-Б та В-В) для уточнення геометрії шпонкових пазів, а також вигляд з торця (А), що

					КНУКБР.131.26.2-01.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відображає розташування чотирьох нарізних отворів М16. Уся необхідна технічна інформація, включаючи вимоги до матеріалу, термообробки та невказаних граничних відхилень, розміщена у штампі та технічних вимогах над ним.

Конструкція вала відзначається високою технологічністю, що обумовлено такими чинниками:

Сходинчаста форма вала забезпечує вільний підвід різального інструмента до робочих поверхонь та зручність при виконанні токарних і шліфувальних операцій.

Виготовлення деталі вимагає застосування високоточного обладнання (верстатів з ЧПК та круглошліфувальних верстатів). Найбільш відповідальними є посадкові шийки Ø160k6 та Ø180k6, що вимагають обробки за 6-м квалітетом точності з шорсткістю Ra 1,6 мкм.

Наявність шпонкових пазів виконаних за допуском Р9, глухого отвору Ø10Н7 та нарізних отворів на торці свідчить про необхідність використання фрезерно-свердлильного обладнання та спеціальної оснастки для точного орієнтування заготовки.

Деталь пристосована до застосування високопродуктивних режимів обробки, зокрема завдяки використанню легованої сталі 30ХМА, яка добре піддається механічній обробці після відповідної термічної підготовки (покращення).

Базування деталі:

Для виконання більшості операцій токарних, шліфувальних як технологічні бази використовуються центрові отвори, що забезпечує виконання принципу єдності та постійності баз.

Зовнішні циліндричні поверхні та торці ступенів слугують установними та опорними базами при фрезеруванні шпонкових пазів та свердлінні отворів, а також використовуються як контрольні бази під час складання вузла для перевірки радіального та осевого биття.

Аналіз креслення підтверджує, що проставлені розміри, допуски та вимоги до шорсткості є достатніми для однозначного розуміння конструкторського задуму та розробки раціонального технологічного процесу виготовлення деталі.

2.4 Проектування технологічного процесу виготовлення вала та вибір обладнання

					КНУ.КБР.131.26.2-01.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічний маршрут розроблено з урахуванням високих вимог до точності посадкових шийок ІТ6 та необхідності обробки специфічних конструктивних елементів шпонкових пазів, нарізних та радіальних отворів.

Основними етапами виготовлення вала є:

005 Заготівельна: отримання поковки (враховуючи матеріал 30ХМА).

010 Фрезерно-центрувальна: підготовка технологічних баз (центрових отворів).

015 Токарна чорнова: попереднє зняття основного припуску.

020 Термічна обробка: покращення або гартування (необхідно для сталі 30ХМА перед фінішними операціями).

025 Токарна чистова: остаточне формування сходящої геометрії вала.

030 Фрезерна: виготовлення шпонкових пазів (згідно з перерізами Б-Б та В-В).

035 Свердлильно-нарізна: свердління радіального отвору $\varnothing 10$ та чотирьох отворів М16 на торці.

040 Круглошліфувальна: фінішна обробка посадкових шийок $\varnothing 160k6$ та $\varnothing 180s6$ для забезпечення заданої шорсткості Ra 1,6.

Вибір верстатів, пристроїв та різального інструмента здійснено на основі габаритів деталі, її точності та фізико-механічних властивостей матеріалу. Деталізовані дані про вибране обладнання наведені у таблиці 2.4.

Операції точіння, фрезерування, сверління, та нарізання різьби виконую на токарно-фрезерному верстаті СТХ 750.



Рисунок 2.2 – Горизонтально - токарний верстат з ЧПК моделі СТХ 750

					КНУ.КБР.131.26.2-01.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

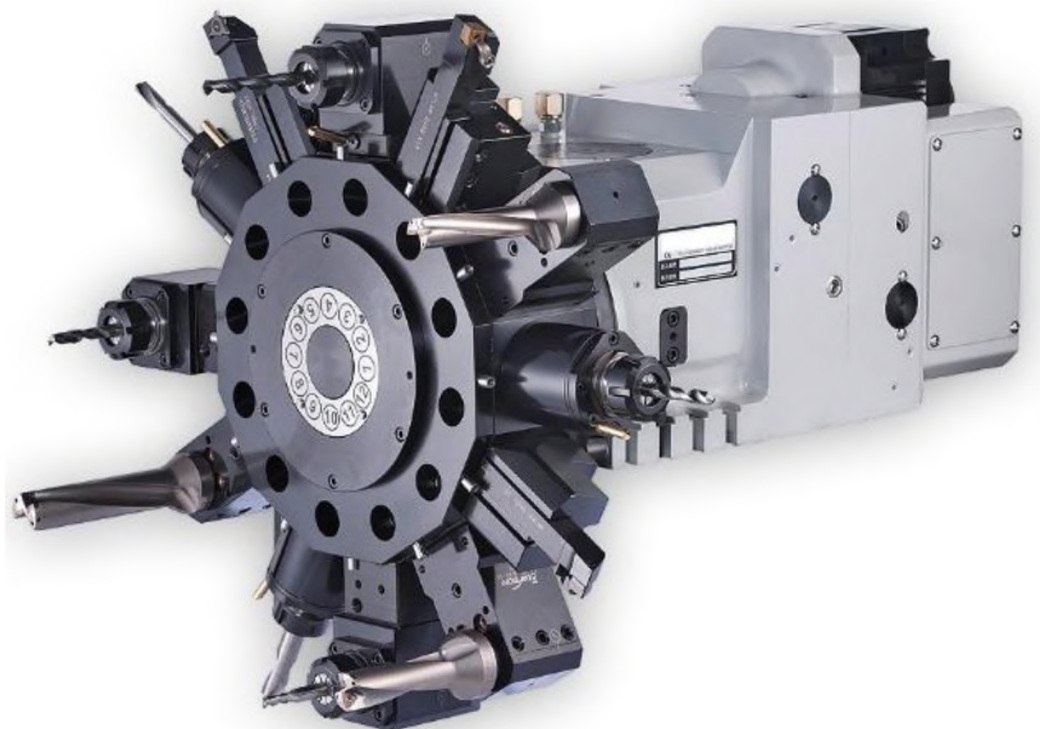


Рисунок 2.3 – Револьверна головка верстата з ЧПК моделі CTX 750. Посадкові місця для державок інструменту – це 12 позицій на торреті для інструментів з інтерфейсом VDI 40.

Технічні характеристики

- Максимальний діаметр заготовки мм: 700
- Максимальна довжина заготовки мм: 2040
- Максимальний хід по осі X мм: 435
- Максимальний хід осі Y. мм: 170
- Максимальний хід осі Z. мм: 2050
- Програмне забезпечення SIEMENS
- Стійка Fanuc

Револьверна головка V4

- Револьверна головка V4: стандарт VDI 40 DIN 69880
- Кількість інструментів шт: 12
- Розмір інструменту (DIN 69880) мм: 25 × 25
- Кількість приводних інструментів шт: 12
- Потужність макс (2,776 об/хв), 100% ПВ кВт: 30
- Крутний момент приводних інструментів, 100% ПВ Н×м: 55
- Діапазон обертів приводних інструментів об/хв: 6000
- Година індексації 30/180 град: з 0.4/0.65
- Макс. вага на диску кг: 200

					КНУ.КБР.131.26.2-01.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Задня бабка (Версія V3-V4)

- Переміщення задньої бабки мм: 1200
- Макс. зусилля притискання: Н 2500
- Діаметр пінолі мм: 120
- Хід пінолі мм: 150
- Конус Морзе: МК 5
- Керування задньою бабкою: Гідравлічне (NC)
- Швидкий хід осі Z3 м/хв: 4 (20)

Люнет

- Керування люнетом: З'єднання з суппортом Z (NC)
- Швидкий хід осі Z м/хв: 4 (8)
- Діапазон затискання $\varnothing$ мм: 75 - 430

Габарити верстата

- Основні габарити для встановлення Д/Ш/В з конвеєром для стружки, мм:
5488 × 3273 × 2244

Вага верстата

- Включно з електрощитом кг: 12000
- Рівень шуму дБ(А) : 78

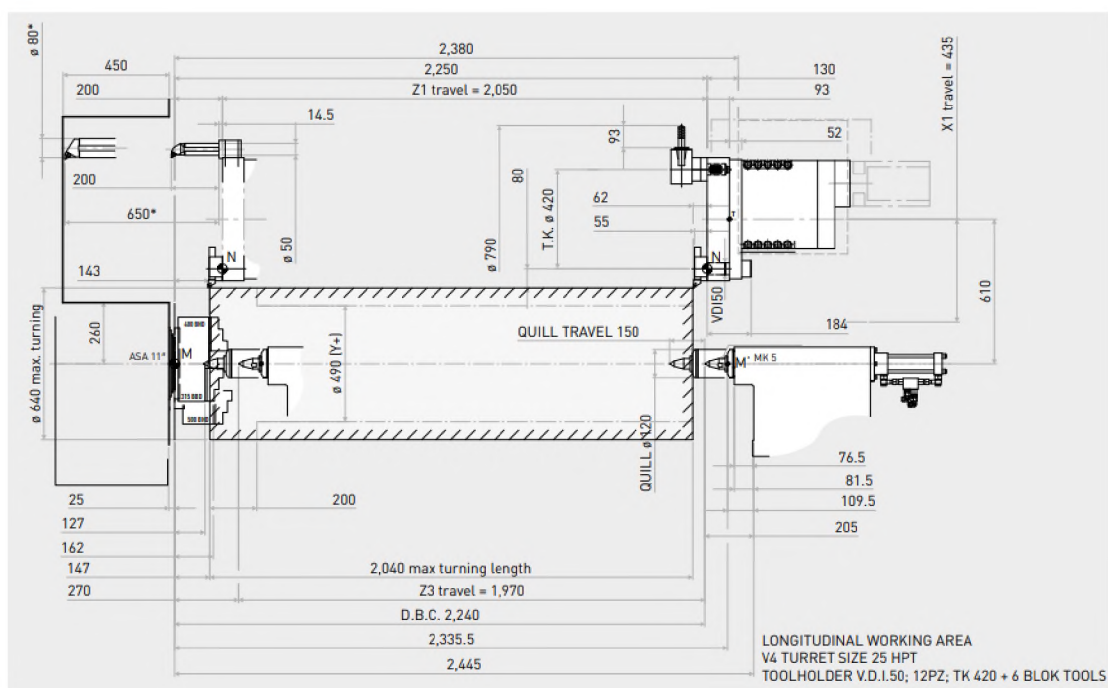


Рисунок 2.4 – Робоча зона верстата з ЧПК моделі СТХ 750

					КНУ.КБР.131.26.2-01.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

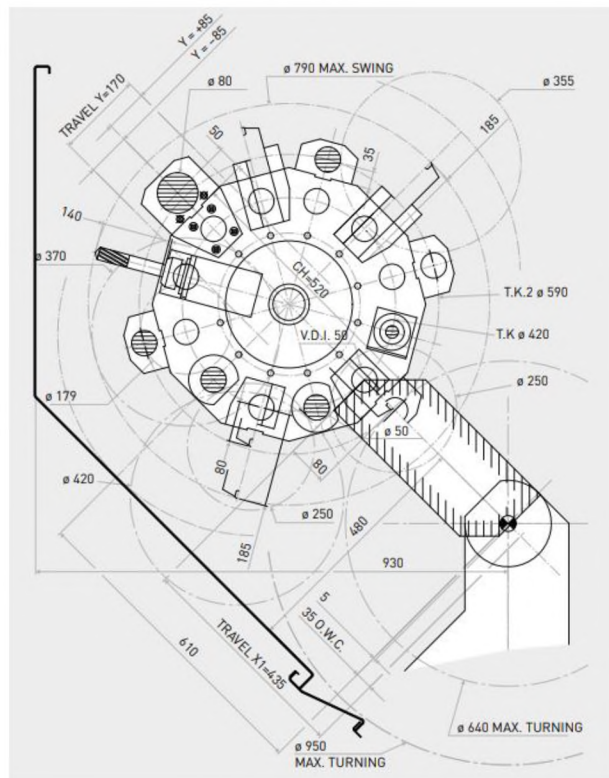


Рисунок 2.5 – Розмірні характеристики револьверної головки верстату з ЧПК моделі CTX 750

Операції фрезерування, сверління та розгортання виконуються на фрезерному верстаті CMX 1100 V.



Рисунок 2.6 – Фрезерний верстат CMX 1100 V

					КНУ.КБР.131.26.2-01.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики

Переміщення:

- Перемещение по оси X, мм: 1100
- Перемещение по оси Y, мм: 560
- Перемещение по оси Z, мм: 510
- Расстояние от поверхности стола до шпинделя, мм: 120–630

Стіл

- Робоча поверхня мм: 1400×560
- Вантажопідйомність кг: 1000

Шпиндель

- Макс. швидкість шпинделя об/хв: 12 000
- Швидкий хід X/Y/Z м/хв: 30/30/30

Інтерфейс інструменту : HSK-A63

- Місткість інструментального сховища: 30
- Максимальний діаметр інструменту:
- із суміжними інструментами мм: 80
- без допоміжних інструментів мм: 130
- Максимальна довжина інструменту мм: 300
- Максимальна вага інструменту кг: 8
- Час зміни інструменту, с: 6.7

Розмір машини

- Площа підлоги, ширина×глибина, мм 3038×2757
- Площа, що займається, м² 8,4
- Вага машини (нетто), кг 5850

Розмір верстату

- Ширина (Ш) мм: 1,990
- Глибина (Г) мм: 2,757
- Висота (В) мм: 2,935

Операції шліфування виконую на кругло шліфувальному верстаті S41.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

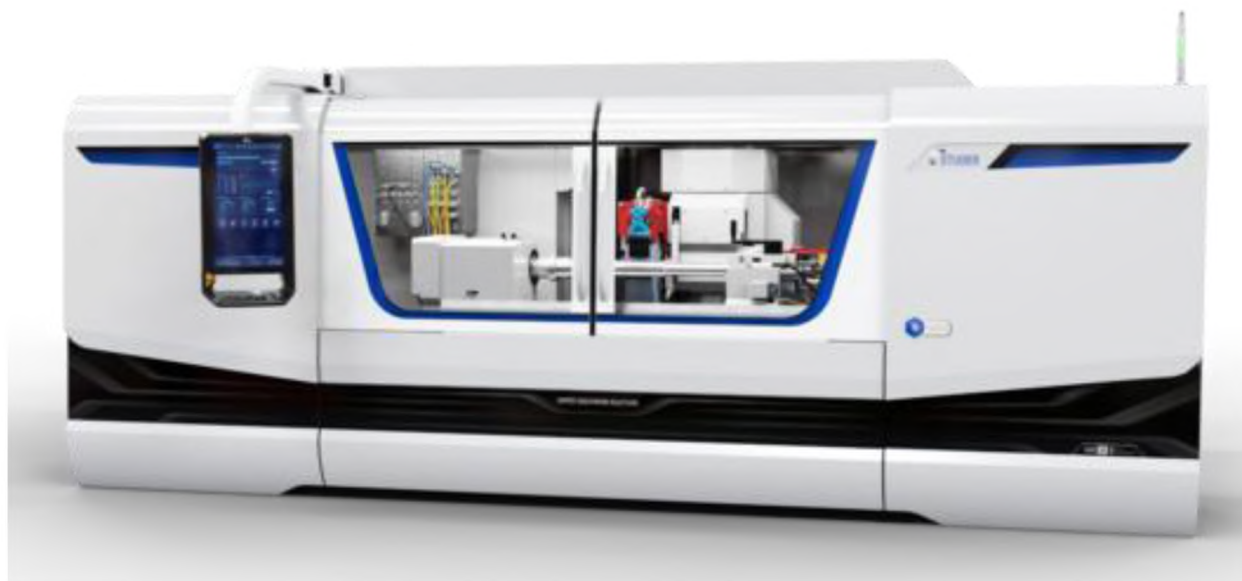


Рисунок 2.7 – Круглошліфувальний верстат з ЧПК моделі S41

Технічні характеристики

Лінійні осі:

- Макс. хід X 350 мм
- Макс. швидкість переміщення X 2000 мм/хв
- Макс. хід Y 100 мм
- Макс. хід Z 1750 мм
- Макс. швидкість переміщення Z 2000 мм/хв

Привід шпинделя:

- Макс. потужність шпинделя 15 кВт
- Макс. кількість обертів 4500 об/хв
- Макс. діаметр шліфувального круга 508 мм
- Макс. ширина шліфувального круга 100 мм

Поворотні осі:

- Діапазон повороту A 30°
- Діапазон повороту B 270°
- Діапазон повороту C ∞°

Максимальний діапазон розмірів заготовки:

- Довжина заготовки 1600 мм
- Діаметр заготовки 549 мм
- Макс. вага заготовки 250 кг
- Відстань між центрами 1600 мм
- Висота центру 275 мм

Шліфувальна гололовка:

					КНУ.КБР.131.26.2-01.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Діапазон повороту від -45 до +225 град
- Точність повторення < 1 дюйм
- Час повороту на 180° < 3 с
- Роздільна здатність 0,00005 град
- Зовнішнє шліфування
- Окружна швидкість 50 / 80 м /
- Конічність посадки 1: 10 / 73 мм
- Макс. потужність приводу 15 кВт (20 к.с.)

Шліфування HSG:

- Окружна швидкість 140 м/с
- Діаметр кріплення круга 127 мм
- Макс. потужність приводу 30 кВт (41 к.с.)
- Діаметр шліфувального круга 400 x 40 мм

Моторна головка:

- Діапазон швидкості 1 – 1 500 об/хв
- Конус посадки / зовнішнє кріплення циліндричного отвору ISO50 / діаметр 110 мм
- Діаметр прутка (отвір шпинделя) 50 мм
- Потужність приводу 10 кВт
- Навантаження для шліфування шпинделя з обертанням 500 Нм
- Максимальна вага заготовки між центрами 250 кг
- Округлість під час шліфування шпинделя з обертанням 0,0004 мм

Задня бабка гідравлічна:

- Конус посадки МТ 4
- Хід циліндра 80 мм
- Діаметр циліндра 70 мм
- Вага заготовки між центрами 250 кг
- Точне налаштування для корекції циліндричності ±80 мкм

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

№ п.	Технологічні методи обробки	Тип верстату	Примітка
1	3	3	4
1,21	Підрізання торця чорнове	CTX 750	-
2	Точіння фаски	CTX 750	-
3	Точіння чорнове	CTX 750	-
	Пів чистове	CTX 750	
	Чистове	CTX 750	
	Шліфування	S41	

					КНУ.КБР.131.26.2-01.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
4	Точіння галтелі Півчистове точіння галтелі	CTX 750 CTX 750	-
5	Точіння чорнове Пів чистове Чистове Шліфування	CTX 750 CTX 750 CTX 750 S41	-
6	Точіння галтелі	CTX 750	-
7	Підрізання торця чорнове	CTX 750	-
8	Точіння фаски	CTX 750	-
9	Точіння чорнове Пів чистове Чистове Шліфування	CTX 750 CTX 750 CTX 750 S41	-
10	Точіння галтелі Півчистове точіння галтелі	CTX 750 CTX 750	-
11	Підрізання торця чорнове Півчистове підрізання торців	CTX 750 CTX 750	-
12	Точіння чорнове	CTX 750	-
13	Точіння фаски	CTX 750	-
14	Підрізання торця чорнове Півчистове підрізання торців	CTX 750 CTX 750	-
15	Точіння галтелі Півчистове точіння галтелі	CTX 750 CTX 750	-
16	Точіння чорнове Пів чистове Чистове Шліфування	CTX 750 CTX 750 CTX 750 S41	-
17	Підрізання торця чорнове	CTX 750	-
18	Точіння галтелі	CTX 750	-
19	Точіння чорнове Пів чистове Чистове Шліфування	CTX 750 CTX 750 CTX 750 S41	-
20	Точіння фаски	CTX 750	-
22	Фрезерування пазу	CMX 1100 V	-
23	Фрезерування пазу	CMX 1100 V	-
24	Свердління Різьбофрезерування	CTX 750 CTX 750	-
25	Свердління Розгортання	CMX 1100 V CMX 1100 V	-

3 ВИБІР ОСНОВНОГО ТА ДОПОМІЖНОГО ІНСТРУМЕНТУ ВІДПОВІДНО ДО МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ

3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі

З огляду на кількість та характер раніше визначених технологічних операцій з обробки поверхонь, здійснюється вибір сучасних типів інструментів. Для кожної оброблюваної поверхні деталі підбирається відповідний тип інструменту. Данні вносимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Вибір типу інструменту по обробці поверхонь.

№ п.	Операція	Тип інструменту
1	3	3
1, 7, 11, 14, 17, 21	Підрізання торця чорнове	Різець для контурного точіння
11, 14	Пів чистове підрізання торців	Різець для контурного точіння
2, 8, 13, 20	Точіння фаски	Різець для контурного точіння
3, 5, 9, 12, 16, 19	Точіння чорнове	Різець для контурного точіння
3, 5, 9, 16, 19	Точіння пів чистове	Різець для контурного точіння
3, 5, 9, 16, 19	Точіння чистове	Різець для контурного точіння
4, 6, 10, 15, 18	Точіння галтелі	Різець для контурного точіння
4, 10, 15	Пів чистове точіння галтелі	Різець для контурного точіння
3, 5, 9, 16, 19	Шліфування	Шліфувальне коло
22	Шліцефрезерування чорнове Шліцефрезерування чистове	Фреза пазова Фреза пазова
23	Шліцефрезерування чорнове Шліцефрезерування чистове	Фреза пазова Фреза пазова
24	Свердління Нарізання різьби	Свердло-зенковка Різьбофреза
25	Свердління Розгортання отвору	Свердло Розгортка

					<i>КНУ.КБР.131.26.2-01.03.ВОДІВМС</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Багрії</i>			<i>Вибір основного та допоміжного інструменту відповідно до міжнародних стандартів</i>	Літ.	Арк.
Перевір.		<i>Рязанцев</i>					Акрушів
Реценз.							
Н. Контр.		<i>Нечаєв</i>				<i>Кафедра ТМ, гр. ПМ-23ск</i>	
Затверд.		<i>Рязанцев</i>					

3.2 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі.

Вибір металорізального інструменту здійснюється комплексно: з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки, виду обробки та технологічних можливостей обладнання. Виходячи з цих критеріїв, визначаються оптимальний матеріал різальної частини, її геометричні параметри та матеріал корпусу серед асортименту вітчизняних і зарубіжних виробників.

Позиції: 1, 7, 11, 14, 17, 21

Чорнове підрізання торця

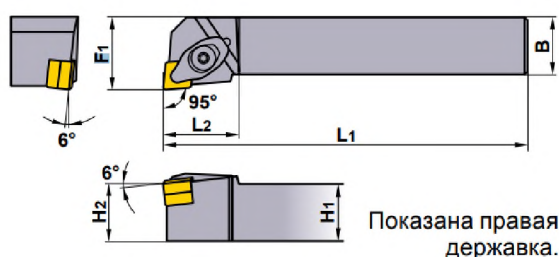


Рисунок 3.1 – Державка DCLNL2525M12-T [2 с. 215, C008]

Геометричні параметри: $H1=25$ мм; $B=25$ мм; $L1=150$ мм; $L2=29$ мм; $9=4$ мм;
 $H2=25$ мм; $S1=0$ мм.

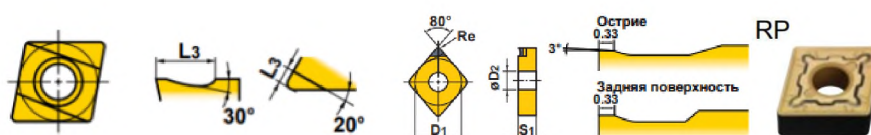


Рисунок 3.2 – Пластина CNMG120408-RP покриття: UE6020 [2 с. 94 A067]

Геометричні параметри: $L3=3,2$ мм; $S=2,38$ мм; $D1=12.7$; $S1=4.76$; $Re=0.4$;
 $D2=5.16$.

Позиція: 11, 14

Пів чистове підрізання торця

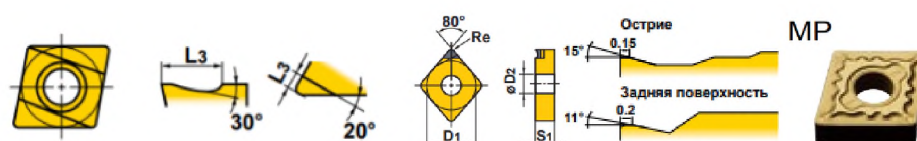


Рисунок 3.3 – Пластина CNMG120404-MP покриття: MC6025 [2 с. 91 A064]

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.ВОДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Геометричні параметри: $L_3=3,2$ мм; $s=2,38$ мм; $D_1=12.7$; $S_1=4.76$; $Re=0.4$;
 $D_2=5.16$.

Позиція: 2, 8, 13, 20

Точіння фаски

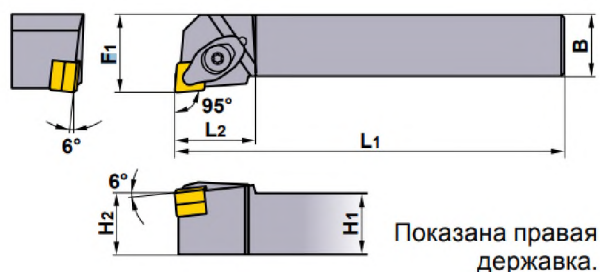


Рисунок 3.4 – Державка DCLNL2525M12-T [2 с. 215, C008]

Геометричні параметри: $H_1=25$ мм; $B=25$ мм; $L_1=150$ мм; $L_2=29$ мм; $9=4$ мм;
 $H_2=25$ мм; $S_1=0$ мм.

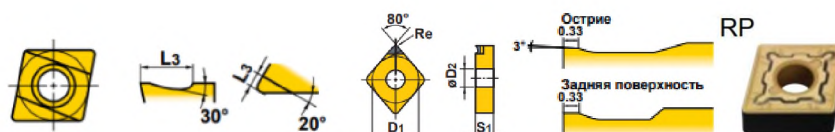


Рисунок 3.5 – Пластина CNMG120408-RP покриття: UE6020 [2 с. 94 A067]

Геометричні параметри: $L_3=3,2$ мм; $S=2,38$ мм; $D_1=12.7$; $S_1=4.76$; $Re=0.8$;
 $D_2=5.16$.

Позиція: 3, 5, 9, 12, 16, 19

Точіння чорнове

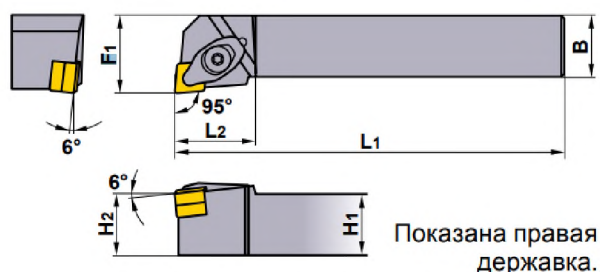


Рисунок 3.6 – Державка DCLNL2525M12-T [2 с. 215, C008]

Геометричні параметри: $H_1=25$ мм; $B=25$ мм; $L_1=150$ мм; $L_2=29$ мм; $9=4$ мм;
 $H_2=25$ мм; $S_1=0$ мм.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.ВОДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

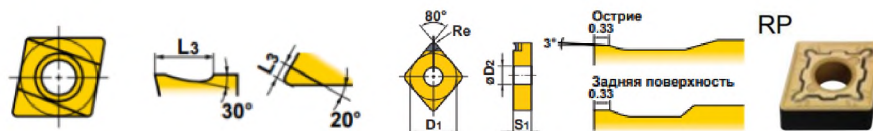


Рисунок 3.7 – Пластина CNMG120408-RP покриття: UE6020 [2 с. 94 A067]

Геометричні параметри: $L3=3,2$ мм; $S=2,38$ мм; $D1=12.7$; $S1=4.76$; $Re=0.4$; $D2=5.16$.

Позиція: 3, 5, 9, 12, 16, 19

Точіння пів чистове

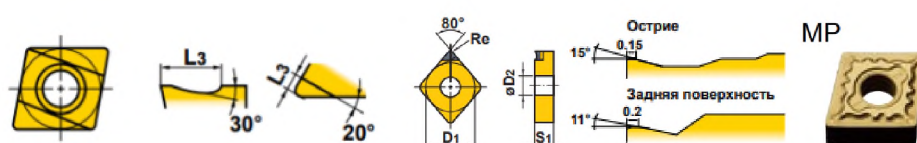


Рисунок 3.8 – Пластина CNMG120404-MP покриття: MC6025 [2 с. 92 A064]

Геометричні параметри: $L3=3,2$ мм; $s=2,38$ мм; $D1=12.7$; $S1=4.76$; $Re=0.4$; $D2=5.16$

Позиція: 3, 5, 9, 12, 16, 19

Точіння чистове

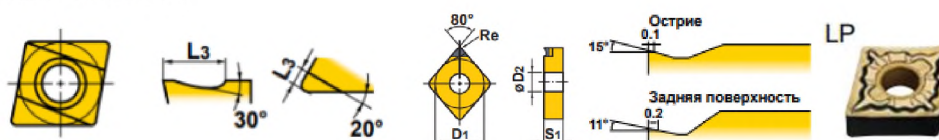


Рисунок 3.9 – Пластина CNMG120404-LP покриття: MC6025 [2 с. 91 A064]

Геометричні параметри: $L3=3,2$ мм; $s=2,38$ мм; $D1=12.7$; $S1=4.76$; $Re=0.4$; $D2=5.16$

Позиція: 4, 6, 10, 15, 18

Точіння галтелі

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.ВОДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

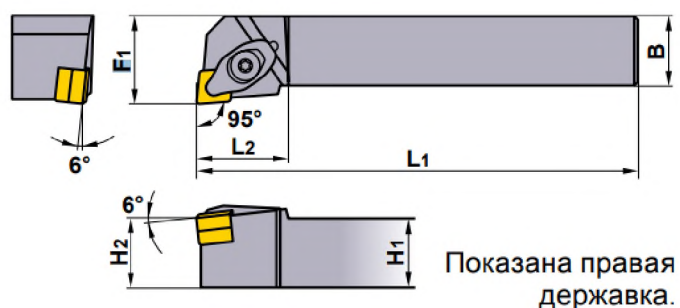


Рисунок 3.10 – Державка DCLNL2525M12-T [2 с. 215, C008]

Геометричні параметри: $H1=25$ мм; $B=25$ мм; $L1=150$ мм; $L2=29$ мм; $r=4$ мм;
 $H2=25$ мм; $S1=0$ мм.

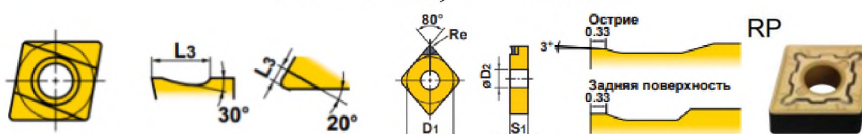


Рисунок 3.11 – Пластина CNMG120408-RP покриття: UE6020 [2 с. 94 A067]

Геометричні параметри: $L3=3,2$ мм; $S=2,38$ мм; $D1=12.7$; $S1=4.76$; $Re=0.4$;
 $D2=5.16$

Позиція: 4, 10, 15.

Пів чистове точіння галтелі

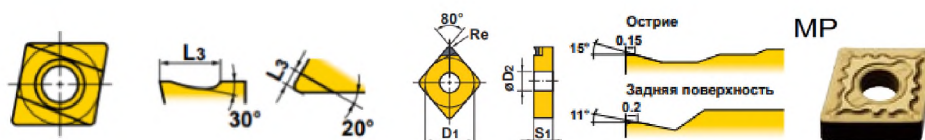


Рисунок 3.12 – Пластина CNMG120404-MP покриття: MC6025 [2 с. 92 A064]

Геометричні параметри: $L3=3,2$ мм; $s=2,38$ мм; $D1=12.7$; $S1=4.76$; $Re=0.4$;
 $D2=5.16$;

Позиція: 3, 5, 9, 16, 19.

Шліфування остаточне

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.ВОДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

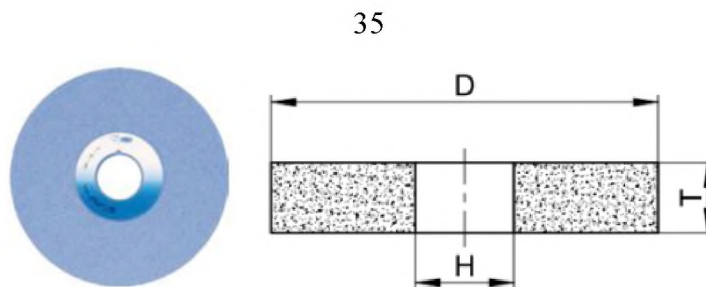


Рисунок 3.13 – Шліфувальний круг 1 300x50x127 SD83A60II7PVK8F [3 с. 37]

Геометричні параметри: $D=300$ мм; $T=50$ мм; $H=127$ мм.

Позиція: 22, 23

Шліцефрезерування чорнове

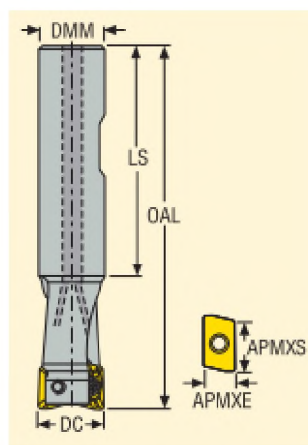


Рисунок 3.14 – Фреза R217.69-1820.0-06-4AN [4 с. 24]

Геометричні параметри: $DC=20$ мм; $DMM=20$ мм; $OAL=200$ мм; $LS=180$ мм;
 $APMXE=3$ мм; $APMXS=5$ мм.

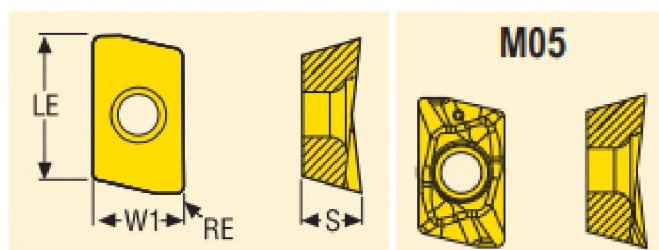


Рисунок 3.15 – Пластина XOMX060202R-M05 MP3000 [4 с. 663]

Геометричні параметри пластини: $W1=4,1$ мм; $S=2,45$ мм; $LE=5,5$ мм; $BS=1,1$ мм. $RE=0,2$ Передній кут $20,2^\circ$. Стружколом – M05.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.В0ДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позиція: 22, 23

Шліцефрезерування чістове

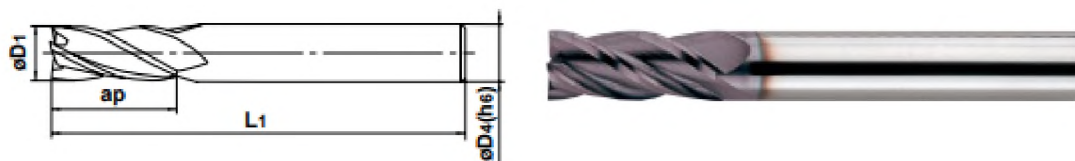


Рисунок 3.16 – Фреза MS4MCD1600E покриття: MS [5 с. 506, I007]

Геометричні параметри: D1=16 мм; D4=16 мм; L1=90 мм; N=4.

Позиція: 24

Різьбофрезерування



Рисунок 3.17 – Різьбофреза DTM-M16X2.0ISO-18R1 покриття AlTiN-based [5 с. 206]

Геометричні параметри: TDZ=M16; TPX=2 мм; DMM=18 мм; DC=13,28 мм; DC1=14 мм; DC2=16,3 мм; ALD=102 мм; OAL=1,5 мм; APMXS=37,12; NOF=2; TCTR=6HX.

Позиція: 25

Свердління

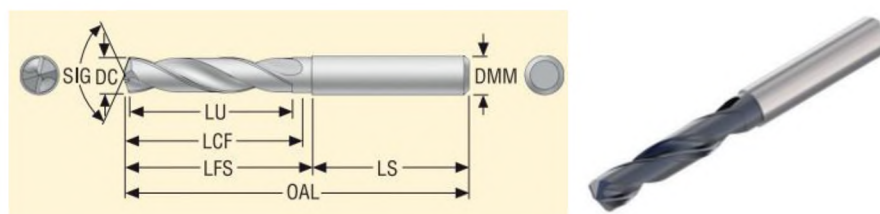


Рисунок 3.18 – Свердло SD1103-0980-035-10R1 покриття: TiAlN [6 с. 29]

Геометричні параметри: DC=9.8 мм; LU=60 мм; OAL=89 мм; LFS=49 мм; LS=40 мм; LCF=477 мм; DMM=10 мм; Point angle=140°; Hole tolerance=IT8-9.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.ВОДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позиція: 25
Розгортання отвору

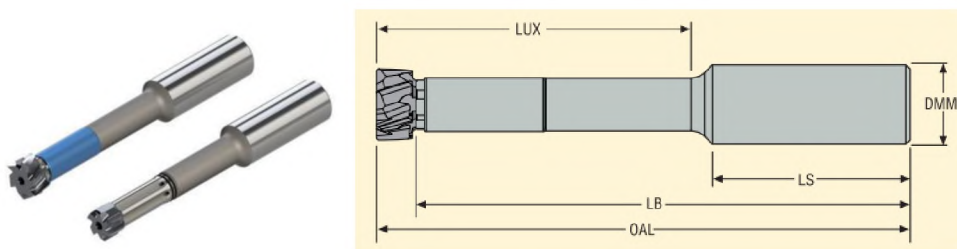


Рисунок 3.19 – Хвостовик PMX05-02800-10N1 матеріал Сталь [6 с. 251]

Геометричні параметри: DC=9,901-14,499 мм; OAL=69 мм; LB=63 мм; LS=40 мм; LUX=48 мм; DMM=10 мм; Hole tolerance=IT7.

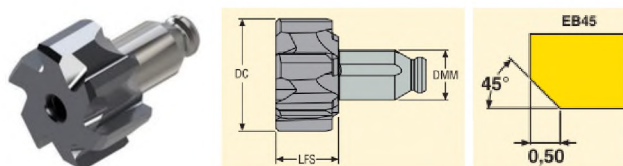


Рисунок 3.20 – Змінна головка для глухих отворів PMX5-10H7-EB45 покриття: RX2000 [6 с. 249]

Геометричні параметри: DC=10 мм; OAL=69 мм; LB=63 мм; LS=40 мм; LUX=48 мм; DMM=10 мм; Hole tolerance=IT7;

Таблиця 3.2 – Вибір параметрів різальної частини інструментів

№ Поверхні	Тип інструмента	Матеріал різучої частини інструменту	Матеріал державки (корпуса, хвостовика) інструмента	Геометричні параметри різальної частини інструмента
1	2	3	4	5
1, 7, 11, 14, 17, 21	Різець для контурного точіння	UE6020	Сталь 40X	
11, 14	Різець для контурного точіння	MC6025	Сталь 40X	
2, 8, 13, 20	Різець для контурного точіння	UE6020	Сталь 40X	

Продовження таблиці 3.2

3, 5, 9, 12, 16, 19	Різець для контурного точіння	UE6020 MC6025	Сталь 40X	$\theta = 95^\circ; \lambda = 0^\circ; \alpha = 7^\circ;$ $\gamma = 30^\circ; \beta = 53^\circ; \delta = 60^\circ;$ $L3=3,2 \text{ мм}; S=2,38 \text{ мм};$ $D1=12.7; S1=4.76; Re=0.4;$ $D2=5.16$
4, 6, 10, 15, 18	Різець для контурного точіння	UE6020	Сталь 40X	
4, 10, 15	Різець для контурного точіння	MC6025	Сталь 40X	
3, 5, 9, 16, 19	Шліфувальне коло	83A	Сталь 40X	-
22	Фреза пазова	MP3000	Сталь 40X	W1=4,1 мм; S=2,45 мм; LE=5,5 мм; BS=1,1 мм; RE=0,2 Передній кут 20,2°.
	Фреза пазова	MS	UVS	D1=16 мм; D4=16 мм; L1=90 мм; N=4;
23	Фреза пазова	MP3000	Сталь 40X	W1=4,1 мм; S=2,45 мм; LE=5,5 мм; BS=1,1 мм; RE=0,2 Передній кут 20,2°.
	Фреза пазова	MS	UVS	D1=16 мм; D4=16 мм; L1=90 мм; N=4;
24	Свердління	AlTiN-based	40CrMnMo7	D1=14 мм; D2=25 мм; L1=38 мм; L2=22 мм; N=6; OAL=125;
	Різьбофрезування	AlTiN-based	P20	TDZ=M16; TPX=2 мм; DMM=18 мм; DC=13,28 мм; DC1=14 мм; DC2=16,3 мм; ALD=102 мм; OAL=1,5 мм; APMXS=37,12; NOF=2; TCTR=6HX;
25	Свердління	TiAlN	P30	2φ = 140°; α = 10°; DC=9.9 мм; LU=60 мм; OAL=89 мм; LFS=49 мм; LS=40 мм; LCF=477 мм; DMM=10 мм; Point angle= 140°; Hole tolerance=IT8-9;
	Розгортання отвору	RX2000	Сталь 40X	DC=10 мм; OAL=69 мм; LB=63 мм; LS=40 мм; LUX=48 мм; DMM=10 мм; Hole tolerance=IT7;

Таблиця 3.3 - Вибір типорозміру різальних інструментів

№ Пов.	Тип інструмента	Основні розміри інструменту	Матеріал різальної частини інструмента, пластини.	Шифр інструмента (державки, пластини) за міжнародними стандартами
1	2	3	4	5
1-21	Різець для контурного точіння	H1=25 мм; B=25 мм; L1=125 мм; L2=20 мм; L9=4 мм; H2=20 мм; S1=0 мм	Чорнова - UE6020 Пів. Чистова - MC6025 Чистова - MC6025	Державка: DCLNL2525M12-T Пластини: Чорнова: CNMG120408-RP Пів. Чистова: CNMG120404-MP Чистова: CNMG120404-LP
3, 5, 9, 16, 19	Шліфу- вальне коло	D=300 мм; T=50 мм; H=127 мм;	83A	SD83A60П7PVK8F
22, 23	Фреза пазова	R=25 мм; D1=50 мм; D4=40 мм; L1=190 мм; L2=120 мм; ap=63 мм;	VP15TF	Державка: R217.69-1820.0-06-4AN Пластини: XOMX060202R- M05
	Фреза пазова	D1=16 мм; D4=16 мм; L1=90 мм; N=4;	MS	MS4MCD1600E
24	Свердління	D1=14 мм; D2=25 мм; L1=38 мм; L2=22 мм; N=6; OAL=126;	TiAlN	Свердло-зенківка ступінчата спеціальна Ø14/Ø25 × 120° (P6M5)
	Різьбофрезу- вання	TDZ=M16; TPX=2 мм; DMM=18 мм; DC=13,28 мм; DC1=14 мм; DC2=16,3 мм; ALD=102 мм; OAL=1,5 мм; APMXS=37,12; NOF=2; TCTR=6HX;	AlTiN-based	Різьбофреза: DTM-M16X2.0ISO-18R1
25	Свердління	DC=9.9 мм; LU=60 мм; OAL=89 мм; LFS=49 мм; LS=40 мм; LCF=477 мм; DMM=10 мм; Point angle=140°; Hole tolerance=IT8-9;	TiAlN	Свердло: SD1103-0980-035-10R1
	Розгортання отвору	DC=9,901-14,499 мм; OAL=69 мм; LB=63 мм; LS=40 мм; LUX=48 мм; DMM=10 мм; Hole tolerance=IT7;	Сталь 40X	Хвостовик: PMX05-02800-10N1 Змінна головка: PMX5-10H7-EB45

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.ВОДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту

З метою розрахункового обґрунтування надійності запроектованого технологічного процесу виконується перевірка різального інструменту на міцність.

Як розрахунковий вибирається найбільш навантажений режим роботи – операція чорнового контурного точіння.

Складові сили різання визначаються з урахуванням комплексу вихідних умов, що включають фізико-механічні характеристики матеріалу заготовки, паспортні дані верстата та параметри зрізу.

З метою оптимізації інженерних обчислень визначення режимів обробки реалізовано шляхом автоматизованого розрахунку.

Для проведення подальшого аналізу міцності обрано токарний різець для контурного точіння моделі DCLNL2525M12-T, який експлуатується у найбільш жорстких технологічних умовах із видаленням максимального шару металу. Геометричні та конструктивні параметри інструменту становлять:

висота тримача $H = 25$ мм,

ширина $B = 25$ мм,

загальна довжина $L = 150$ мм,

довжина робочої частини $L_2 = 29$ мм,

висота головки $H_2 = 25$ мм.

Корпус різця виготовлений із конструкційної легованої сталі 40Х, яка має границю міцності $\sigma_B = 700$ МПа та допускає напруження на рівні $\sigma = 230$ МПа.

Обробці піддається заготовка з припуском діаметром 200 мм із хромомолібденової сталі 30ХМА ($\sigma_B = 860$ МПа). П

араметри зрізуваного шару та налаштування обладнання під час виконання технологічного переходу мають такі значення: глибина різання (припуск на сторону) $t = 2,5$ мм, розділений на два чорнових проходи, величина технологічної подачі $S = 1$ мм/об, а величина вильоту консольної частини різця з інструментальної головки становить $l = 50$ мм.

1. Визначаємо силу різання за допомогою автоматизованих розрахунків:

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.В.ОДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Токарная обработка ISO

P

Низколегированная сталь
отожженная
(HB 175, Rm 591 N/mm²)

Диаметр заготовки	200.00 Dc mm
Скорость резания	520 vc m/min
Частота вращения, об./мин	828 n RPM
Глубина резания	1.25 ap mm
Главный угол в плане	90 k °
Подача на оборот	1.03 fn mm/rev
Минутная подача	849 vf mm/min
Длина обработки	907 lm mm
Передний угол	-6 γ °
КПД станка	90 η %
Критерий износа	5 %
Сила резания	2685.01 Fc N
Удельный съём материала	662.50 cm ³ /min
Время обработки	1 Минут 4 Секунд
Момент	240.26 Mc Nm
Мощность	23.12 Pmot KW

Рисунок 3.21 – Розрахунок режимів різання

$$P_z = 2685 \text{ Н}$$

2. Ширина та висота перетину державки h=25 мм, b=25 мм.
3. Перевіряємо міцність і жорсткість державки різця:
 - а) макс. навантаження, допустима міцність різця:

$$P_{z \text{ доп}} = \frac{bh^2\sigma_{н.д}}{6l} = \frac{25 \cdot (25)^2 \cdot 200}{(6 \cdot 40)} = 10416 \text{ Н}$$

- б) макс. навантаження, допустима жорсткість різця:

$$P_{z \text{ жорс}} = \frac{3fEJ}{l^3} = \frac{3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot (2,1 \cdot 10^{11}) \cdot (3,25 \cdot 10^{-8})}{(50 \times 10^{-3})^3} = 12480 \text{ Н}$$

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.В0ДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Де $f = 0.1$ – допустима стріла прогину при чорновому точінні;

$E = 2.1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ – модуль пружності матеріалу державки;

J - момент інерції прямокутного перетину державки;

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{25 \times 25^3}{12} = 3.25 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

$l = 50 \text{ мм}$

Перевірка різця на міцність і жорсткість:

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

$$10416 > 2685 < 12480$$

Умова виконана. Різець володіє достатньою міцністю і жорсткістю.

3.4 Обґрунтування та вибір типорозмірів допоміжного інструменту

Інструментальне налагодження сучасної технологічної системи є складним інтегрованим комплексом, який об'єднує різальні та допоміжні інструменти в єдину жорстку кінематичну структуру. Формування цього комплексу здійснюється за модульним принципом у напрямку від виконавчого органу – безпосередньо різальної кромки основного інструменту – через систему перехідних допоміжних елементів (оправок, патронів, блоків) до посадочних і базувальних поверхонь верстата (гнізд револьверної головки або конуса шпинделя).

Ефективність проектування інструментального налагодження безпосередньо впливає на техніко-економічні показники операції. Вихідними даними для визначення конфігурації та вибору конкретних типорозмірів допоміжного інструменту слугують геометричні й конструктивні параметри оброблюваних поверхонь деталі, прийнята схема базування та закріплення заготовки, технічні характеристики обраного металорізального обладнання, а також габаритні та приєднувальні розміри раніше визначеного стандартного різального інструменту.

На основі комплексного аналізу цих факторів у цьому підрозділі виконано підбір відповідних допоміжних інструментів, визначено їхні конструктивні й приєднувальні параметри, а також забезпечено належну жорсткість і базувальну точність всього інструментального ланцюга.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.В0ДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позиції: 1-21

Операція точіння:

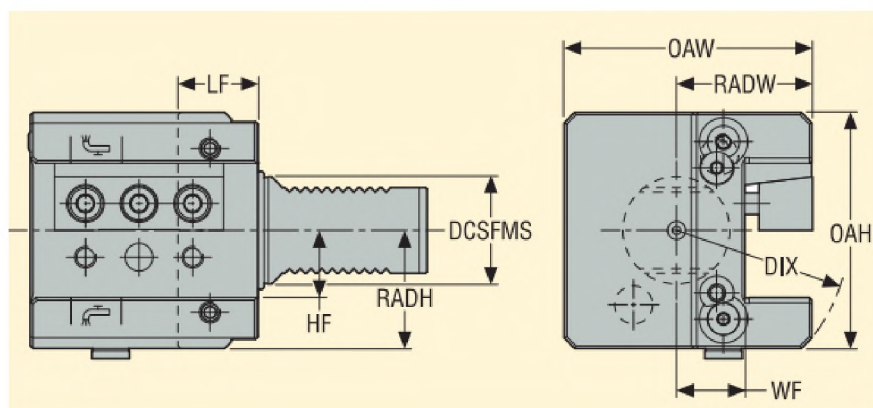


Рисунок 3.22 – Різцетримач VDI40 ASHN-VDI40-25-JETI [7 с.408]

Геометричні параметри: DCSFMS=40 мм; DIX=64 мм; RADW=51 мм;
OAW=93 мм; WF=26 мм; RADH=44 мм; OAH=88 мм; HF=25 мм; LF=22 мм;
CP=80 мм;

Позиції: 22-23;

Фрезерування шпонкового пазу чорнове

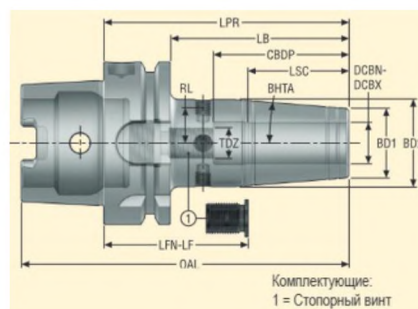


Рисунок 3.23 – Термооправка E9304540320100 [8 с.84]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.26.2-01.03.ВОДІВМС

Арк.

Геометричні параметри: LPR=120 мм; DCBN=20 мм; LB=74 мм;
CBDP=55,5 мм; LSC=41 мм; BD2=42 мм; BD2=33 мм; OAL=132 мм; LFN-
LF=47,5-59 мм; RL=18 мм;

Позиції: 22-23;

Фрезерування шпонкового пазу чистове

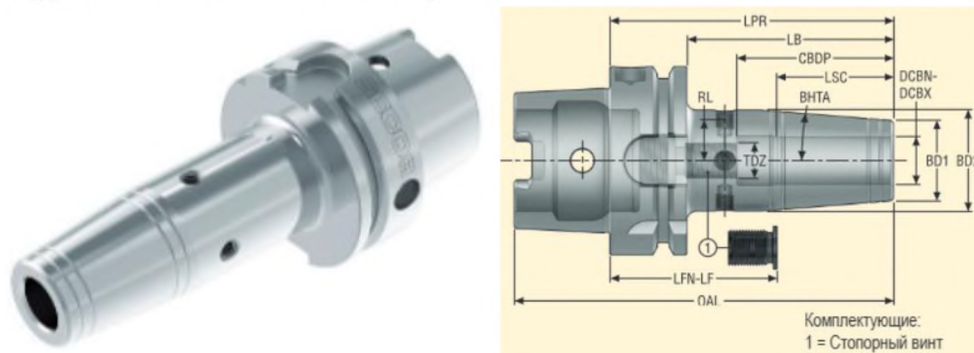


Рисунок 3.24 – Термооправка E930454031695 [8 с.84]

Геометричні параметри: LPR=95 мм; DCBN=16 мм; LB=69 мм; CBDP=52,5
мм; LSC=39 мм; BD2=34 мм; BD2=27 мм; OAL=127 мм; LFN-LF=45-56 мм;
RL=14 мм;

Позиції: 24;

Свердління

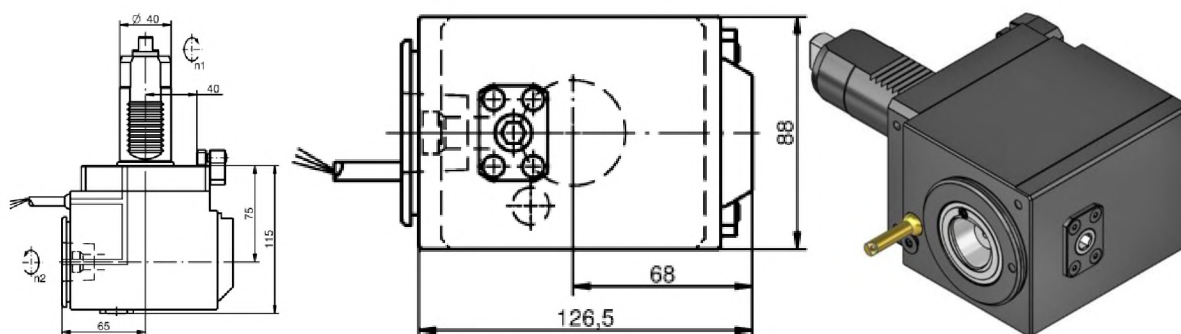


Рисунок 3.25 – Радіальний приводний інструментальний блок 410504436-40 [9.
с.3]

Геометричні параметри: DC=40 мм; L1=115 мм; L2=75 мм; L3=65 мм;
L4=40 мм; L5=126,5 мм; L6=68 мм; L7=88 мм; Форм фактор з'єднання C4;

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.ВОДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позиції: 24;
Свердління

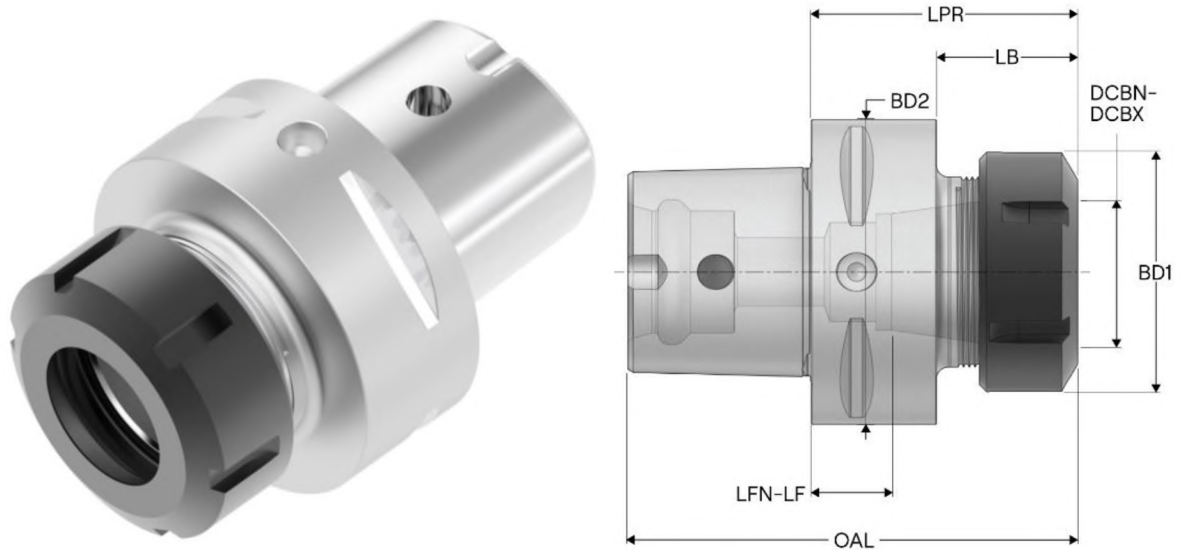


Рисунок 3.26 – Цанговий патрон ER 32 C4-ER32-054 [6. с.3]

Геометричні параметри: DCBN-DCBX=2-20 мм; LB=34 мм; LPR=54 мм; LFN-LF=7-14 мм; OAL=78 мм; BD2=40; BD1=50; DM=Ø40 мм; CTMS= C4;

Допоміжне остаткування ER 58803220 – цанга ER 32

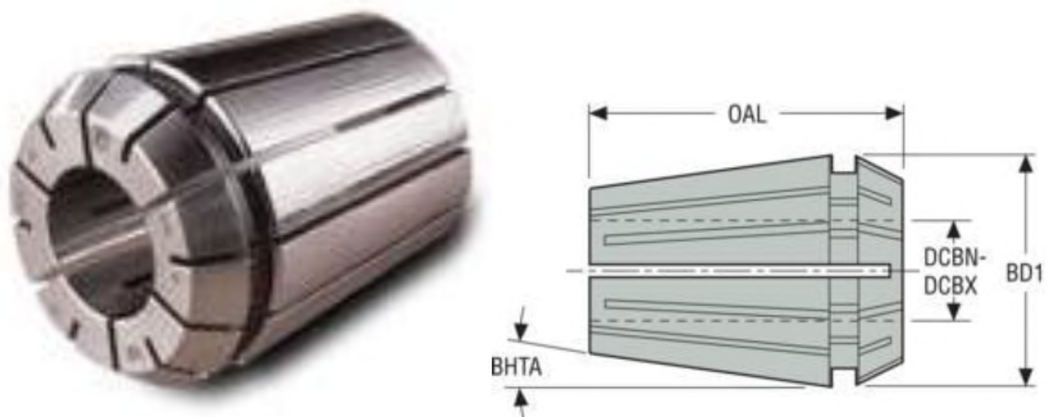


Рисунок 3.27 – Цанга ER 58803220 [8 с.39]

Геометричні параметри: DCBN-DCBX=19-20 мм; BD1=33 мм; OAL=40 мм; BHTA°=8°; CTMS=ER 32;

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.ВОДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позиції: 24;
Різьбофрезерування:

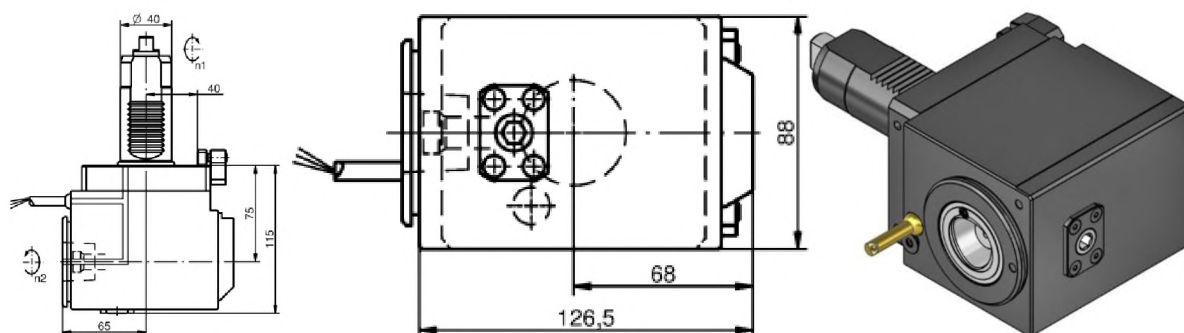


Рисунок 3.28 – Радіальний приводний інструментальний блок 410504436-40 [6. с.3]

Геометричні параметри: DC=40 мм; L1=115 мм; L2=75 мм; L3=65 мм; L4=40 мм; L5=126,5 мм; L6=68 мм; L7=88 мм; Форм фактор з'єднання C4;

Позиції: 24
Різьбофрезерування:

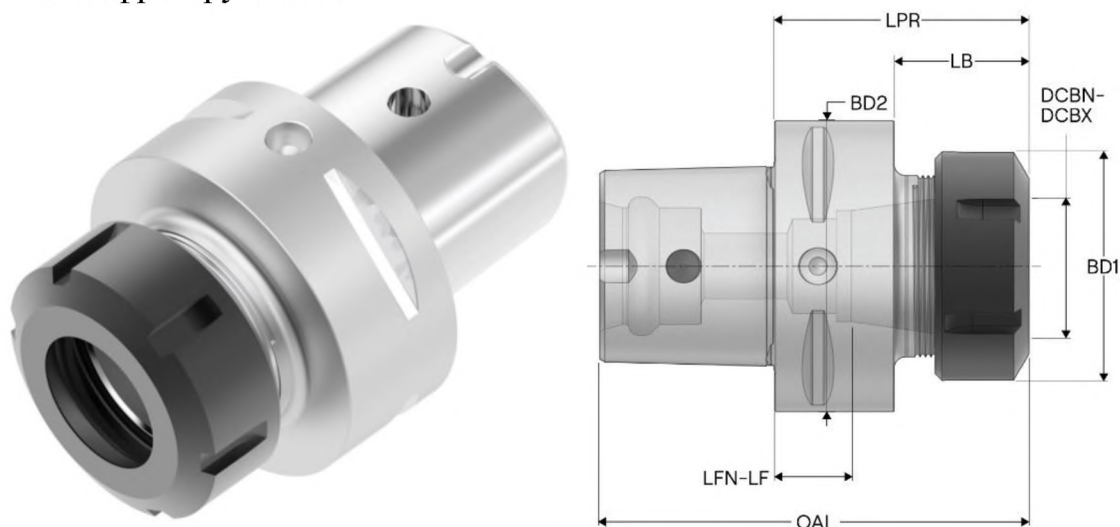


Рисунок 3.29 – Цанговий патрон ER 32 C4-ER32-054 [6. с.3]

Геометричні параметри: DCBN-DCBX=2-20 мм; LB=34 мм; LPR=54 мм; LFN-LF=7-14 мм; OAL=78 мм; BD2=40; BD1=50; DM=Ø40 мм; CTMS= C4;

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.ВОДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допоміжне остаткування ER 58803218 – цанга ER 32

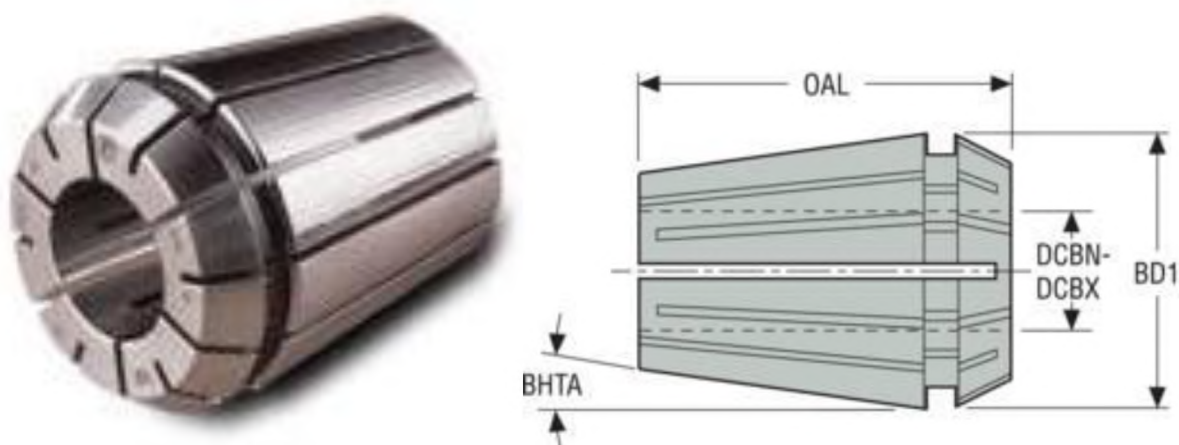


Рисунок 3.30 – Цанга ER 58803218 [8 с.39]

Геометричні параметри: DCBN-DCBX=17-18 мм; BD1=33 мм; OAL=40 мм; BHTA° = 8°; CTMS=ER 32;

Позиції: 25;

Свердління пів. чистове

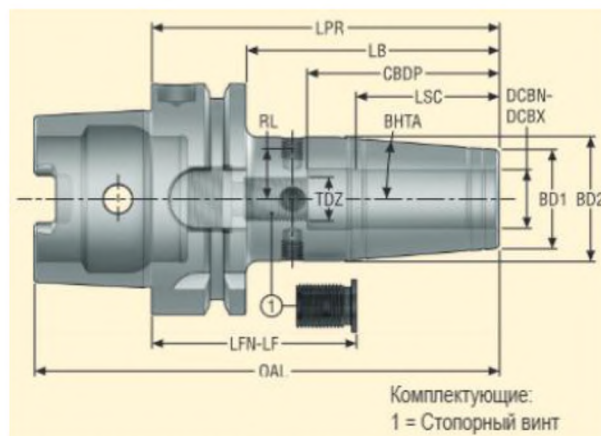


Рисунок 3.31 – Термооправка E930454031085 [8 с.84]

Геометричні параметри: LPR=85 мм; DCBN=10 мм; LB=59 мм; CBDP=43,5 мм; LSC=31 мм; BD2=32 мм; BD2=24 мм; OAL=117 мм; LFN-LF=43-54 мм; RL=10,5 мм;

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.ВОДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позиції: 25;
Розгортання отвору

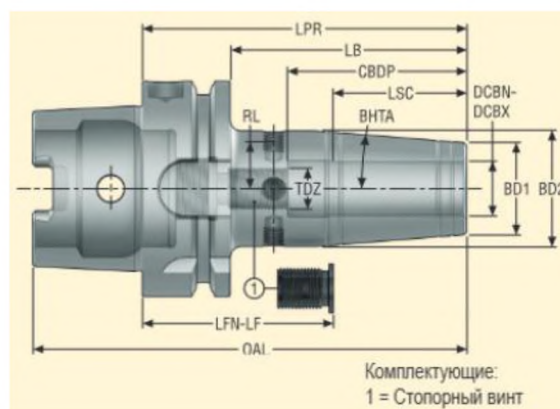


Рисунок 3.32 – Термооправка E930454031085 [8 с.84]

Геометричні параметри: LPR=85 мм; DCBN=10 мм; LB=59 мм; CBDP=43,5 мм; LSC=31 мм; BD2=32 мм; BD2=24 мм; OAL=117 мм; LFN-LF=43-54 мм; RL=10,5 мм;

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

Розробка інструментального налагодження є невід'ємним етапом технологічної підготовки до механічної обробки ведучого вала. Цей процес полягає у раціональному підборі та позиціонуванні інструментального оснащення в робочому просторі верстата. Алгоритм комплектування передбачає першочергове визначення основного різального інструменту, після чого підбирається відповідне допоміжне оснащення для забезпечення надійної фіксації та кінематичної сумісності з обладнанням. Вибір елементів базується на конструктивних особливостях деталі (зокрема, з огляду на габарити вала Ø195 мм та загальну довжину 970 мм), жорстких вимогах до точності формоутворення, а також критеріях продуктивності обробки.

У межах даного розділу спроектовано інструментальне налагодження для виконання токарної операції на сучасному верстаті з ЧПК моделі СТХ 750. Номенклатуру інструментального комплексу сформовано відповідно до змісту технологічних переходів на основі вихідних даних таблиць 2.1, 2.3 та 2.4. Підсумкову інформацію щодо обраного оснащення систематизовано та зведено до таблиці 4.1.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.ВОДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Таблиця 3.4 – Вибір типу допоміжного інструменту

№ п/з поверхні	Металорізальний верстат	Параметри посадочного місця верстата під інстр.	Тип різучого інстр. (шифр)	Параметри посадочного місця різучого інстр.	Допоміжний інстр. (шифр) за міжнародними стандартами
1	2	3	4	5	6
1, 7, 11, 14, 17, 21	CTX 750	DMM=40 мм	DCLNL2525M12- T	H1=25 мм; B=25 мм	ASHN-VDI40- 25-JETI
11, 14	CTX 750	DMM=40 мм	DCLNL2525M12- T	H1=25 мм; B=25 мм	ASHN-VDI40- 25-JETI
2, 8, 13, 20	CTX 750	DMM=40 мм	DCLNL2525M12- T	H1=25 мм; B=25 мм	ASHN-VDI40- 25-JETI
3, 5, 9, 12, 16, 19	CTX 750	DMM=40 мм	DCLNL2525M12- T	H1=25 мм; B=25 мм	ASHN-VDI40- 25-JETI

Продовження таблиці 3.4

3, 5, 9, 16, 19	CTX 750	DMM=40 мм	DCLNL2525M12- T	H1=25 мм; B=25 мм	ASHN-VDI40- 25-JETI
3, 5, 9, 16, 19	CTX 750	DMM=40 мм	DCLNL2525M12- T	H1=25 мм; B=25 мм	ASHN-VDI40- 25-JETI
4, 6, 10, 15, 18	CTX 750	DMM=40 мм	DCLNL2525M12- T	H1=25 мм; B=25 мм	ASHN-VDI40- 25-JETI
4, 10, 15	CTX 750	DMM=40 мм	DCLNL2525M12- T	H1=25 мм; B=25 мм	ASHN-VDI40- 25-JETI
24	CTX 750	DM=40 мм	Свердло-зенківка ступінчата спеціальна Ø14/Ø25 × 120° (P6M5)	DMM=20 мм	ER 32 C4-ER32- 054
24	CTX 750	DM=40 мм	DTM- M16X2.0ISO-18R1	DMM=18 мм	ER 32 C4-ER32- 054

					КНУ.КБР.131.26.2-01.03.ВОДІВМС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту

Проектування комбінованого свердла-зенківки здійснюється на основі системного аналізу існуючих методів формоутворення поверхонь та класифікації різальних інструментів. Розрахунок геометрії та визначення ключових конструктивних розмірів комбінованого інструмента, необхідного для підготовки отворів під подальше нарізання різьби, виконується з урахуванням конструктивних та технологічних характеристик оброблюваної деталі.

Вихідні дані:

Матеріал заготовки – 30ХМА;

Твердість – 200...240 НВ;

Стан поверхні – після механічної обробки

Діаметр отвору до обробки: $\varnothing 14\text{H8}$

Діаметр отвору після обробки: $\varnothing \text{M16}$

Довжина отвору: 38 мм

Розміри фаски: 2 мм

Шорсткість поверхні: Ra 6,3

Верстат: СТХ 750

Стан верстата: Задовільний

Тип виробництва: Крупносерійне

Матеріал робочої частини свердла та зенківки – 40CrMnMo7 за DIN 2208, матеріал хвостовика – сталь 40Х.

Для оптимізації техніко-економічних показників інструментального виробництва хвостовик свердла-зенківки проектується з конструкційної сталі загального призначення, що дозволяє уникнути перевитрат дорогого інструментального матеріалу. Матеріал різальної частини призначається на основі аналізу технологічності оброблюваного матеріалу деталі та регламентованих параметрів точності одержуваного отвору.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.04.ПІАРІ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Багрії			Проектування та інженерний аналіз різального інструменту	Літ.	Арк.	Акрушіє	
Перевір.		Рязанцев							
Реценз.						Кафедра ТМ, гр. ПМ-23ск			
Н. Контр.		Нечаєв							
Затверд.		Рязанцев							

4.1.1 Визначаємо зовнішній діаметр свердла D.

Відповідно до вимог ДСТУ 10903-77, для формування підрізьбового отвору під номінальний діаметр різьби $d = 16$ мм діаметр свердлильної частини інструмента становить $D = 14$ мм. Для зняття фаски розміром 2 мм робочий діаметр зенкувальної частини призначається $D = 25$ мм згідно з ДСТУ 14953-80.

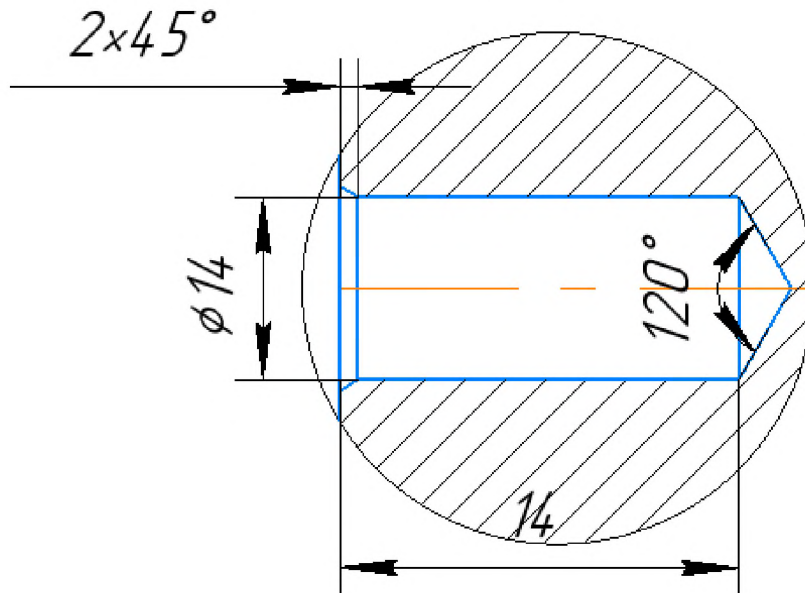


Рисунок 4.1 – Схема отвору

4.1.2 Визначаємо розрахункову швидкість

Для свердління за формулою (4.1):

$$V_p = \frac{C_v \times D^q \times K_v}{T^m \times S_y} \quad (4.1)$$

$$V_{pc} = \frac{C_v \times D^q \times K_v}{T^m \times S_y} = \frac{14 \times 14^{0,4} \times 1}{5^{0,2} \times 0,3^{0,5}} = 53,3 \text{ м/хв}$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv} = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,75$$

$D=14$ мм

$K_{uv} = 1$

$K_{lv} = 1$

$K_r = 1$

					КНУ.КБР.131.26.2-01.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T = 5 \text{ хв } S = 0,3 \text{ мм/об}$$

$$C_v = 14;$$

$$q = 0,4; m = 0,2; y = 0,5$$

Для зенкування за формулою (4.1):

$$V_{pz} = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{T^m \cdot S^y \cdot t^x} = \frac{20 \cdot 20^{0,3} \cdot 0,75}{5^{0,3} \cdot 0,7^{0,5} \cdot 0,75^{0,2}} = 28,7 \text{ м/хв}$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv} = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,75$$

$$D = 20 \text{ мм}$$

$$K_{uv} = 1$$

$$K_{lv} = 1 \quad K_r = 1$$

$$T = 5 \text{ хв}$$

$$S = 0,7 \text{ мм/об}$$

$$C_v = 20;$$

$$q = 0,3;$$

$$m = 0,3; y = 0,5; x = 0,2$$

4.1.3 Визначаємо частоту оберту шпинделя n , об/хв

Формула для знаходження частоти оберту шпинделя (4.2):

$$n_{pc} = \frac{1000 \cdot V_p}{3,14 \cdot D} \quad (4.2)$$

Для свердління за формулою (4.2):

$$n_{pc} = \frac{1000 \cdot V_p}{3,14 \cdot D} = \frac{1000 \cdot 53,3}{3,14 \cdot 14} = 1211 \text{ об/хв}$$

Для зенкування за формулою (4.2):

$$n_{pz} = \frac{1000 \cdot V_p}{3,14 \cdot D} = \frac{1000 \cdot 28,8}{3,14 \cdot 20} = 459 \text{ об/хв}$$

Обираємо лімітуючу частоту оберту $n_p = 1211$ об/мин для свердління, та $n_p = 459$ для зенкування.

4.1.4 Визначаємо дійсну швидкість різання $V_{дйс.}$, м/хв.

Формула для знаходження дійсної швидкості різання (4.3):

					КНУ.КБР.131.26.2-01.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_c}{1000} \quad (4.3)$$

Для свердління за формулою (4.3):

$$V_{дс} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_c}{1000} = \frac{\pi \cdot 14 \cdot 1211}{1000} = 53,26 \text{ м/хв}$$

Для зенкування за формулою (4.3):

$$V_{дз} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_d}{1000} = \frac{\pi \cdot 20 \cdot 459}{1000} = 28,8 \text{ м/хв}$$

4.1.5 Визначаємо осьову силу різання P_o , Н

Формула для знаходження осьової сили різання (4.4):

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot Dq \cdot S_y \cdot K_p \quad (4.4)$$

Обираємо лімітуючу подачу $S=0,7$ мм/об

Для свердління за формулою (4.4):

$$P_{oc} = 10 \cdot C_p \cdot Dq \cdot S_y \cdot K_p = 10 \cdot 68 \cdot 141 \cdot 0,70,7 \cdot 0,28 = 2076,65 \text{ Н}$$

$$C_p=68; q=1; y=0,8; K_p=0,28$$

Для зенкування за формулою (4.4):

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot t_x \cdot S_y \cdot K_p = 10 \cdot 67 \cdot 61 \cdot 0,70,65 \cdot 0,28 = 906 \text{ Н}$$

$$C_{pz} = 67; x = 1,2; y = 0,65; K_p=0,28$$

4.1.6 Визначаємо крутний момент $M_{кр}$, Н·м

Формула для знаходження крутного моменту (4.5):

$$M_{кр} = 10 \cdot C_t \cdot Dq \cdot S_y \cdot K_p \quad (4.5)$$

					КНУ.КБР.131.26.2-01.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для свердління за формулою (4.5):

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S_y \cdot K_p = 10 \cdot 0,0345 \cdot 14^2 \cdot 0,7^{0,8} \cdot 0,28 = 14,23 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$C_m = 0,0345; q = 2; y = 0,8; K_p = 0,28$$

Для зенкування за формулою (4.5):

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot t^x \cdot S_y \cdot K_p = 10 \cdot 0,09 \cdot 20^1 \cdot 6^{0,9} \cdot 0,7^{0,8} \cdot 0,28 = 19 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$C_m = 0,09; q = 1; x = 0,9; y = 0,8; K_p = 0,28$$

4.1.7 Визначаємо потужність різання

Формула для знаходження крутного моменту (4.6):

$$N_P = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} \quad (4.6)$$

Для свердління за формулою (4.6):

$$N_P = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{14,23 \cdot 1211}{9750} = 1,76 \text{ кВт}$$

Для зенкування за формулою (4.6):

$$N_P = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{19 \cdot 459}{9750} = 0,89 \text{ кВт}$$

4.1.8 Обираємо довжину свердла-зенківки

Загальну довжину свердла-зенківки L , довжину робочої частини свердла l_1 , довжину робочої частини зенківки l_2 , довжину хвостовика l_x , довжину шийки $l_{ш}$ приймаємо згідно з ДСТУ 10903–77, ДСТУ 12489–71 та відповідно до довжини оброблюваної поверхні.

$$L = l_1 + l_2 + l_x + l_{ш} = 38 + 25 + 50 + 10 = 125 \text{ мм.}$$

4.1.9 Обираємо геометричні і конструктивні параметри робочої частини свердла.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Форму заточування приймаємо ДПЛ (подвійна з підточкою поперечної кромки та стрічки).

Кут нахилу гвинтової канавки $\omega = 22^\circ$.

Кути між різальними крайками: $2\varphi = 140^\circ$, $2\varphi_0 = 70^\circ$, $b = 1,5$ мм.

Задній кут $\alpha = 10^\circ$.

Кут нахилу поперечної крайки $\psi = 50^\circ$.

Розміри підточеної частини поперечної кромки: $a = 0,6$ мм, $l = 1,8$ мм.

Розміри підточеної частини перемички: $h = 0,8$ мм, $k = 2,2$ мм

Крок гвинтової канавки:

$$H = \pi \cdot D / \tan \omega = 3,14 \cdot 14 / \tan 30^\circ = 76,2 \text{ мм.}$$

4.1.10 Обираємо товщину серцевини свердла

Товщину серцевини свердла:

$$d_c = 0,14 \cdot D = 0,14 \cdot 14 = 1,96 \text{ мм}$$

4.1.11 Зворотну конусність свердла (зменшення діаметра в напрямку до хвостовика) на 100 мм довжини робочої частини для свердла діаметром $D = 14$ мм приймаємо рівною 0,05 мм.

4.1.12 Ширина ленти f_0 та висота затилку по спинці K вибираються відповідно до діаметра свердла: $f_0 = 0,8$ мм, $K = 0,3$ мм.

4.1.13 Ширина пера $B = 0,59 \cdot D = 0,59 \cdot 14 = 8,26$ мм

4.1.14 Установлюємо основні технічні вимоги та допуски на розміри свердла.

Граничні відхилення діаметра свердла $D = 14H9_{(+0,036 \text{ мм})}$.

Допуск на загальну довжину та довжину робочої частини свердла приймаємо рівним подвоєному допуску за 14-м квалітетом з симетричним розташуванням граничних відхилень згідно з ГОСТ 25347–82.

Радіальне биття робочої частини свердла відносно осі хвостовика не повинно перевищувати 0,05 мм.

Кути: $2\varphi = 117^\circ \pm 2^\circ$; $2\varphi_0 = 70^{+5^\circ}$. Кут нахилу гвинтової канавки $\omega = 29^\circ_{-2^\circ}$.

Граничні відхилення розмірів підточки перемички ріжучої частини свердла встановлюємо +0,5 мм. Твердість робочої частини свердла приймаємо 63–66 HRC; твердість у лапці хвостовика свердла – 32–46,5 HRC.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1.15 Визначаємо геометричні та конструктивні параметри ріжучої частини зенківки.

Діаметр зенківки $D = 25$ мм

Задній кут на головній ріжучій кромці – $\alpha=10$

Кут при вершині – $2\phi=60^\circ$

Кількість зубців – 6

Довжину робочої частини зенківки $l_2=16$ мм,

4.2 Інженерний аналіз спеціального ріжучого інструменту

З метою перевірки працездатності спроектованого комбінованого різального інструменту свердла-зенківки було проведено інженерний аналіз його напружено-деформованого стану за допомогою програмного комплексу SolidWorks Simulation. Головним завданням дослідження є оцінка міцності та жорсткості інструменту шляхом визначення еквівалентних напружень і максимальних пружних переміщень під дією робочих експлуатаційних навантажень.

Для реалізації розрахункової моделі створену 3D-модель інструменту було імпортовано в середовище SolidWorks. На першому етапі підготовки до аналізу твердотільному об'єкту було призначено фізико-механічні властивості обраного матеріалу – інструментальної легованої сталі DIN 1.2208 (X42Cr13) (рисунок 4.2).

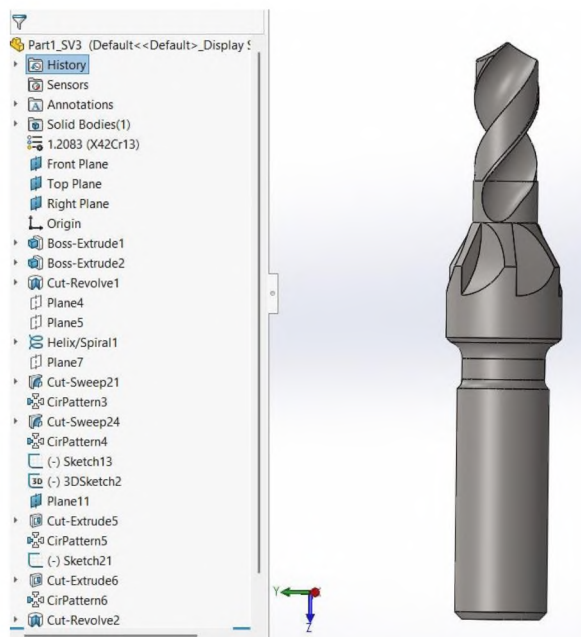


Рисунок 4.2 – 3д модель свердла-зенківки у програмному середовищі SolidWorks.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для дослідження напружено-деформованого стану (НДС) комбінованого інструмента в модулі SolidWorks Simulation було розроблено розрахункову модель лінійного статичного аналізу. Умови базування інструмента змодельовано шляхом накладання обмежень (фіксованої геометрії) на посадковий діаметр хвостовика, що імітує його встановлення в шпиндель верстата.

Силкові фактори, що виникають безпосередньо в процесі різання металу, задані у вигляді зовнішніх навантажень на робочі поверхні інструмента. Осьова складова сили різання (сила подачі), прикладена до головних різальних кромки свердла, становить 2076 Н. Опір матеріалу при обробці фаски враховано зусиллям 930 Н, яке діє на різальні кромки зенківки.

Скручувальні навантаження змодельовані крутним моментом величиною 45,64 Н·м, заданим відносно поздовжньої осі інструмента. Розрахункову схему з візуалізацією граничних умов та прикладених навантажень наведено на рисунку 4.3.

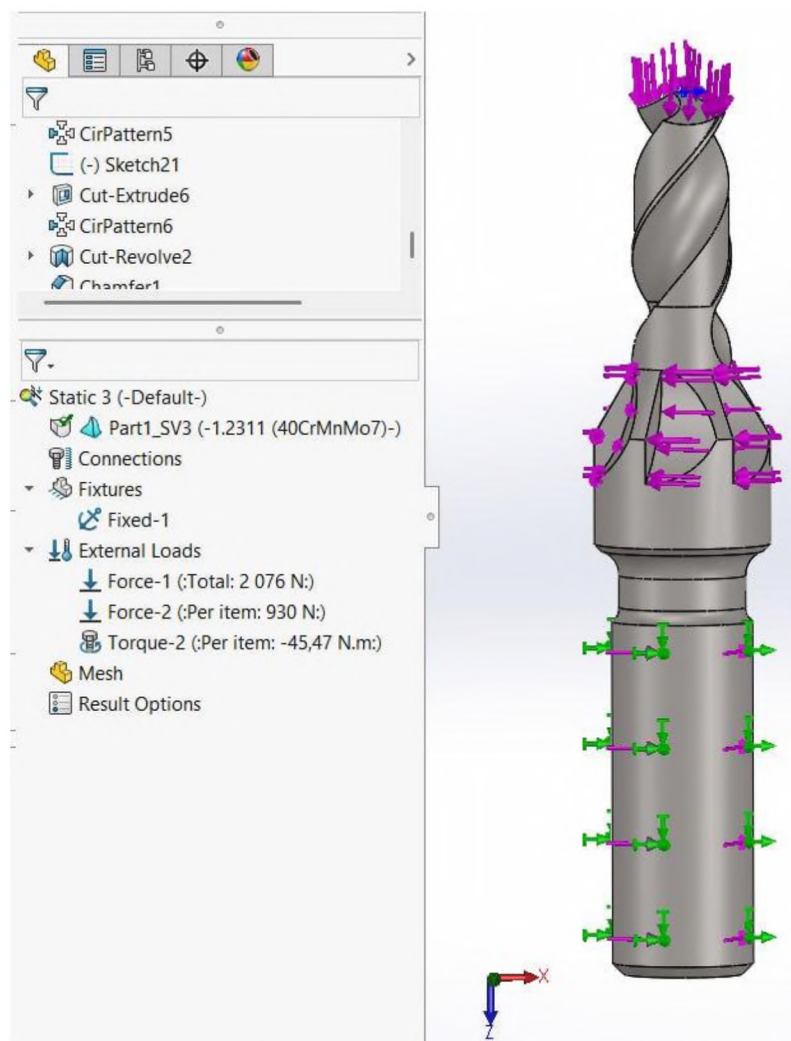


Рисунок 4.3 – 3д модель на вкладці Simulation

					КНУ.КБР.131.26.2-01.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завершивши формування граничних умов на робочих та посадкових поверхнях інструмента, розрахункову модель піддають дискретизації – генерують сітку скінченних елементів (рисунк 4.4).

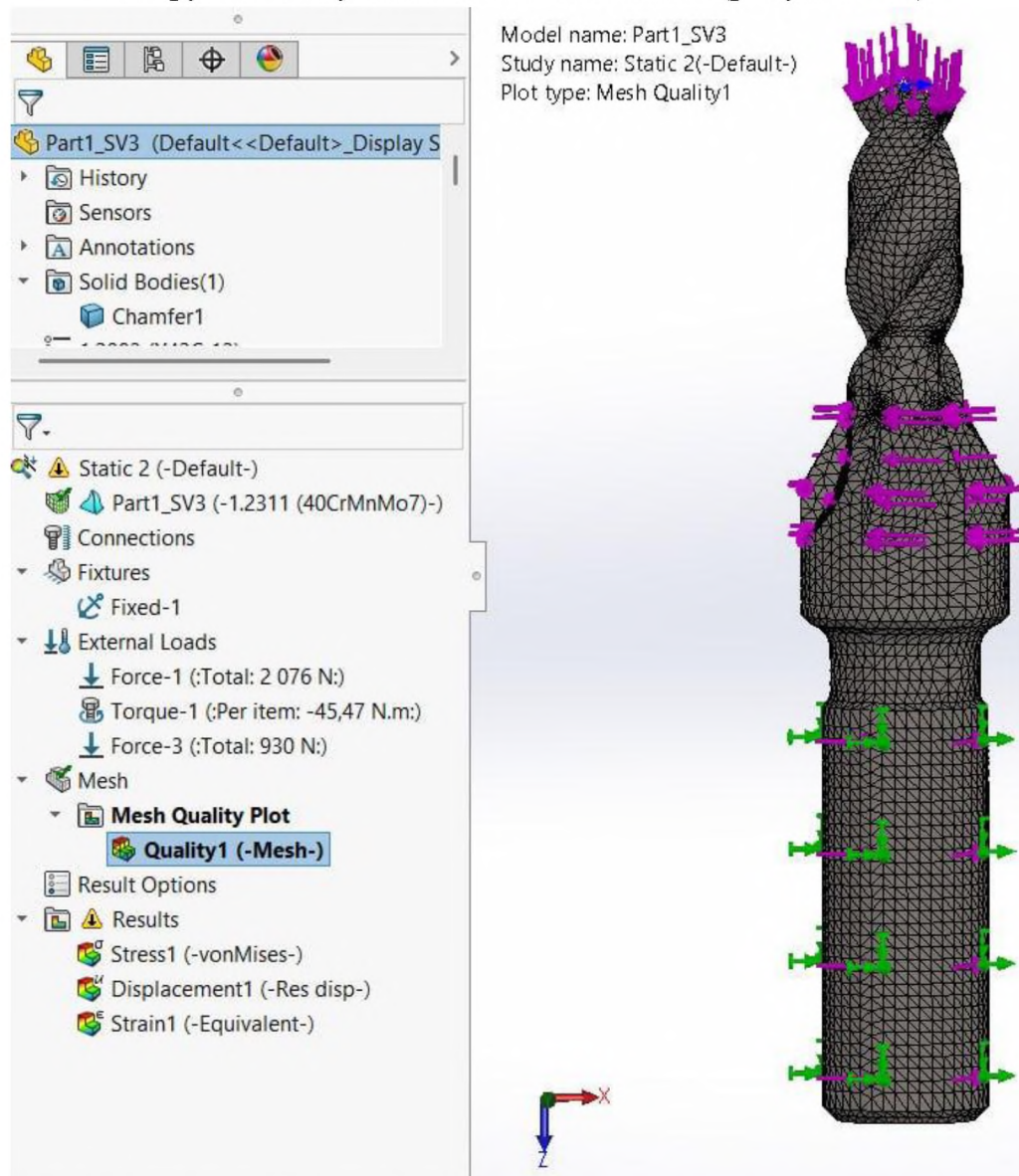


Рисунок 4.4 – 3д модель з сіткою скінченних елементів

За результатами симуляції отримано базовий набір епюр, які характеризують просторовий розподіл еквівалентних напружень, сумарних переміщень та деформацій у тілі інструмента (рисунки 4.5– 4.7).

Оцінка міцності спроектованого комбінованого інструмента здійснювалася за критерієм еквівалентних напружень Губера-Мізеса. Аналіз результатів статичного моделювання (рисунк X.X) показує, що зона максимальних напружень локалізується в області стружкових канавок поблизу головних різальних кромek свердла. Максимальне розрахункове напруження в цій зоні становить 397,31 МПа. Для матеріалу інструмента – легованої сталі 40CrMnMo7 – довідкове значення межі текучості становить $\sigma_T = 821$ МПа.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі цих даних було визначено статичний коефіцієнт запасу міцності за формулою:

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_{\max}} = \frac{821}{397,31} = 2,06$$

Отриманий коефіцієнт запасу ($n > 2$) свідчить про те, що під дією заданих технологічних навантажень, осьової сили подачі та крутного моменту, в тілі інструмента не виникають пластичні деформації. Такий запас є оптимальним для металорізального інструменту, оскільки він гарантує надійну роботу конструкції навіть з урахуванням можливих динамічних коливань та короточасних перевантажень під час врізання у заготовку.

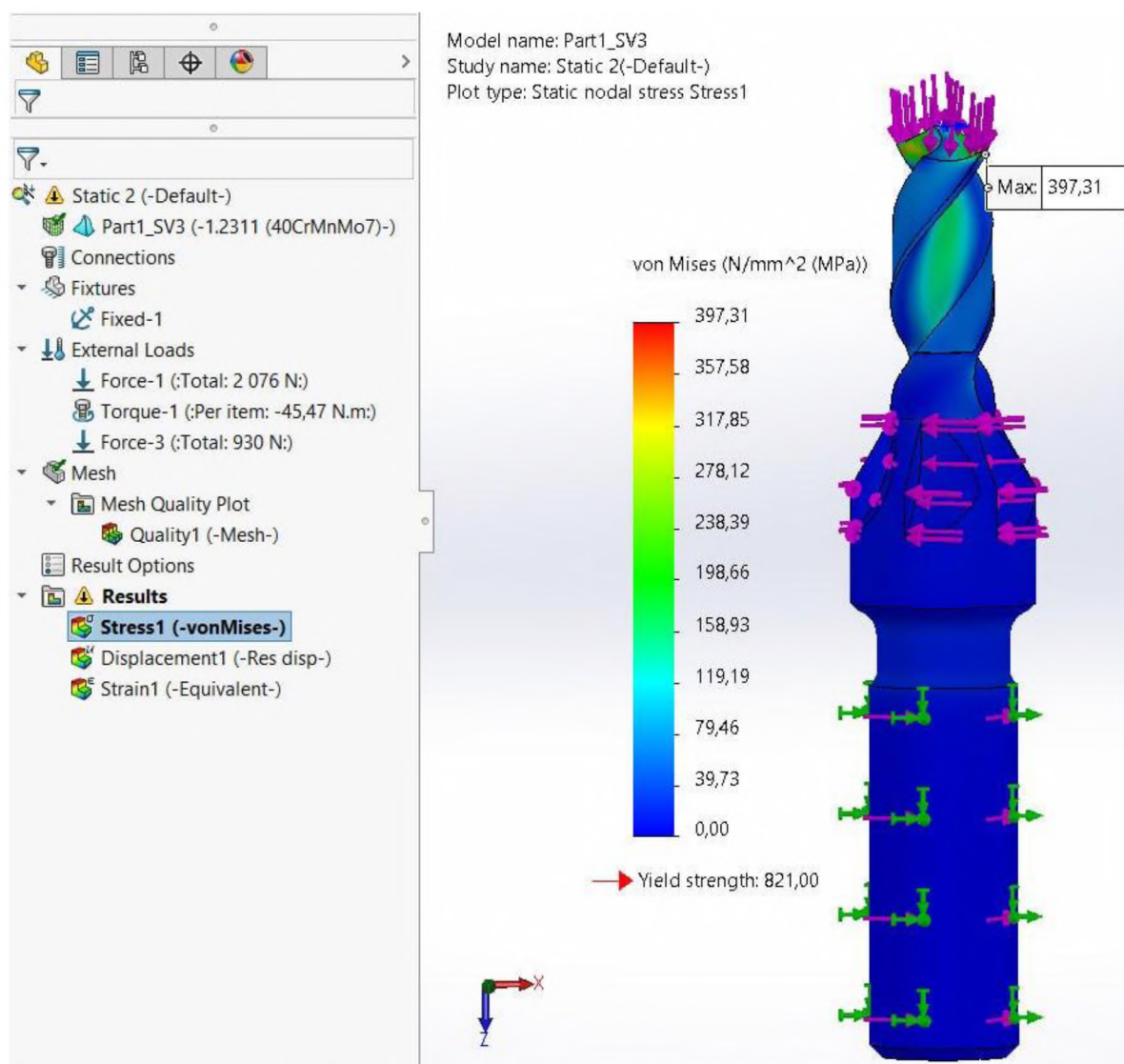


Рисунок 4.5 – Дослідження напруження

					КНУ.КБР.131.26.2-01.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз епюри сумарних переміщень (URES) показує, що максимальні пружні відхилення виникають на периферії головних різальних кромek свердла та становлять 0,07 мм. Таке значення зумовлене сумісною дією осевого зусилля стискання та крутного моменту. Отримана величина переміщення є незначною в масштабах габаритів інструмента та знаходиться в межах допустимих пружних деформацій для металорізального інструменту даного класу. Це свідчить про високу статичну жорсткість спроектованої конструкції, що гарантує відсутність вібрацій та забезпечення необхідної точності обробки отворів.

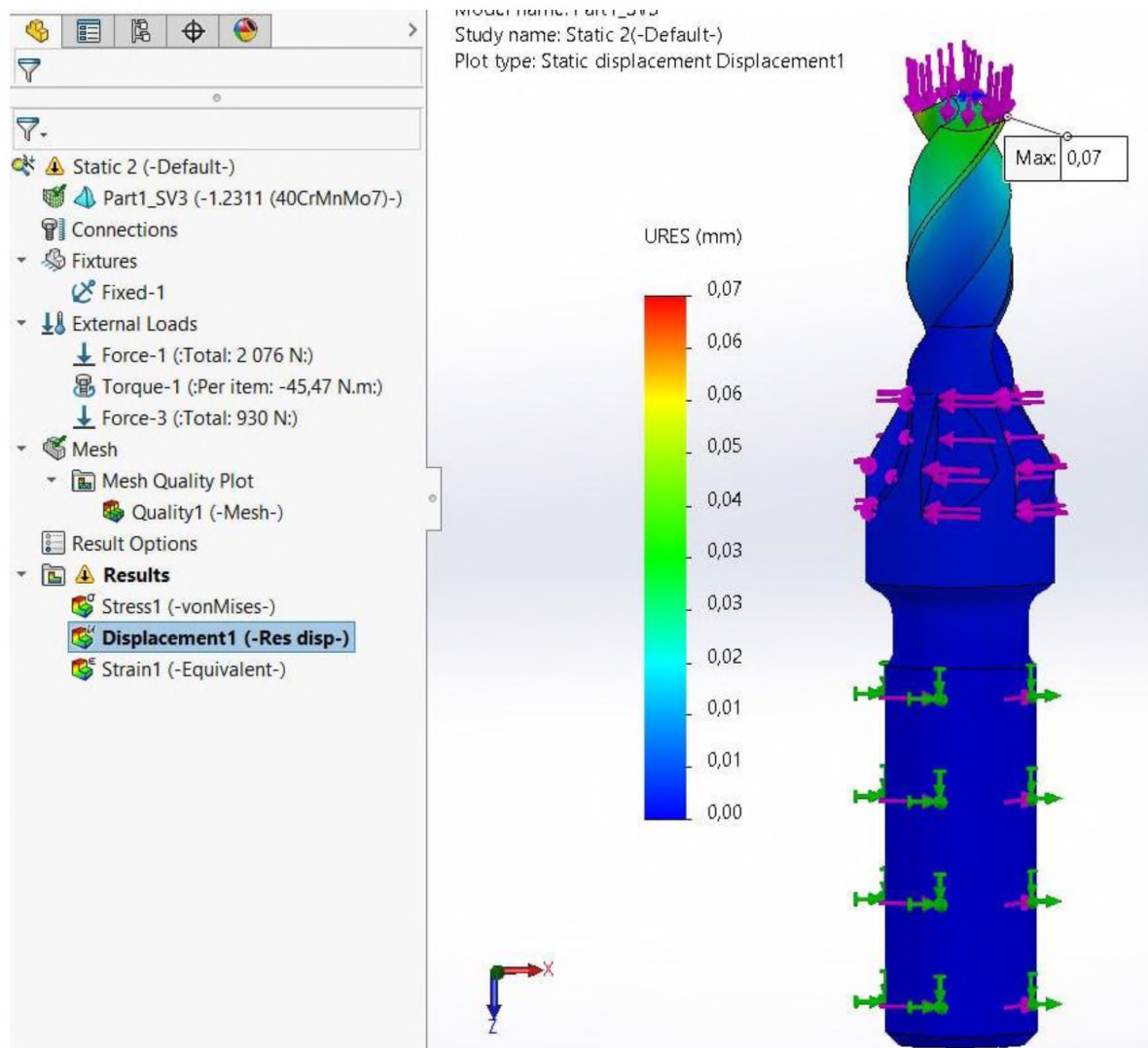


Рисунок 4.6 – Дослідження переміщення

Для комплексної оцінки напружено-деформованого стану комбінованого інструмента було додатково проаналізовано епюру відносних еквівалентних деформацій (ESTRN). Максимальне значення деформації зафіксовано в зоні різальних кромek свердла і становить 0,001 (або 0,1%).

					КНУ.КБР.131.26.2-01.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримана величина є типовою для стадії пружного деформування легованих сталей під дією робочих навантажень. Оскільки зафіксована максимальна деформація (0,001) є меншою за загальноприйняту умовну межу пружності для сталей, яка становить 0,2% (0,002), це свідчить про відсутність незворотних (пластичних) змін у геометрії деталі.

Після зняття технологічного навантаження, тобто при виході інструмента із зони різання, його форма та розміри повністю відновляються до номінальних значень. Отримані результати деформаційного аналізу узгоджуються з епюрами напружень та переміщень, додатково підтверджуючи високу статичну жорсткість спроектованої конструкції та її здатність забезпечити задану точність обробки.

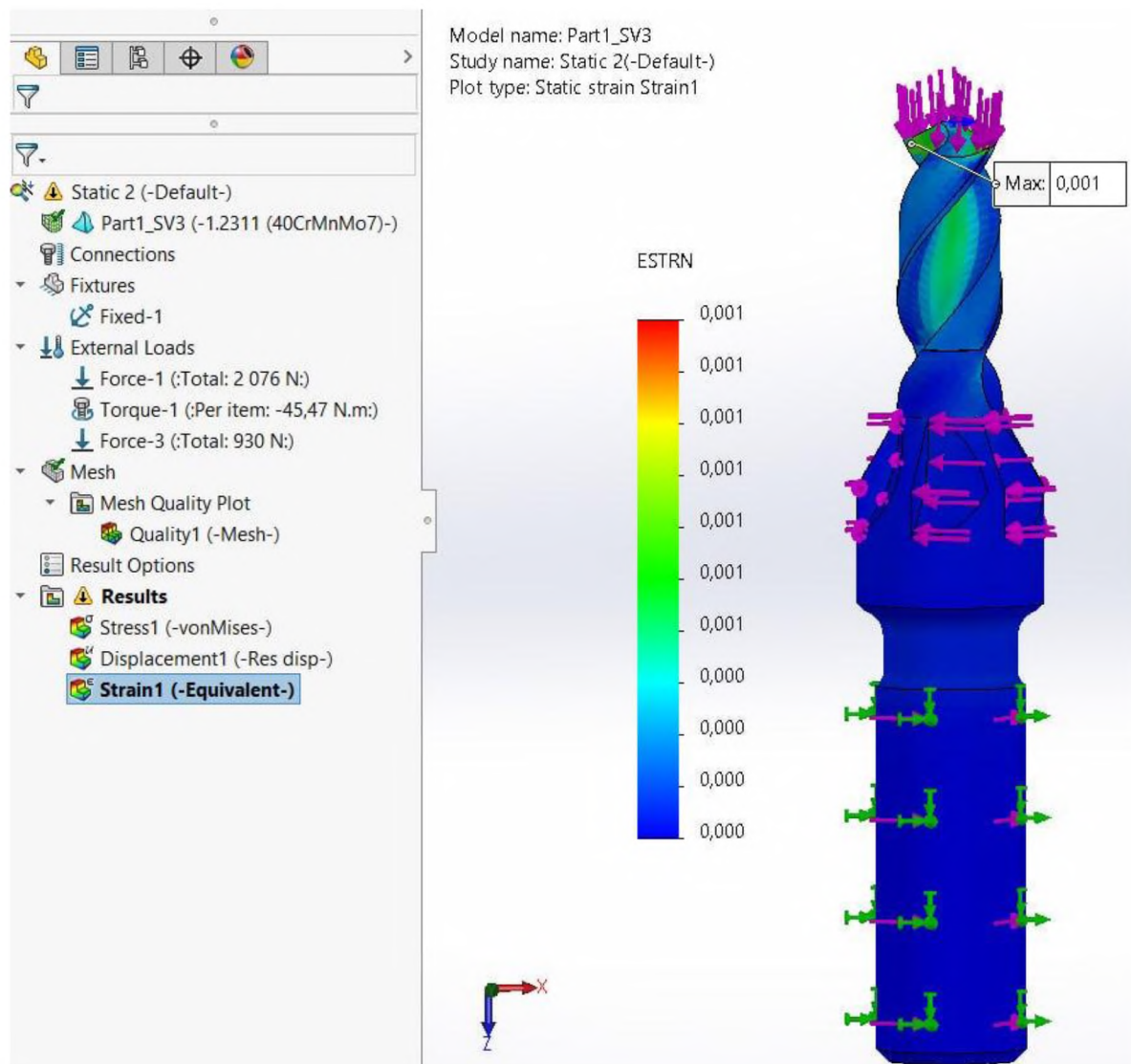


Рисунок 4.7 – Дослідження деформації

					КНУ.КБР.131.26.2-01.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз одержаних епюр дозволив ідентифікувати локальні зони найбільшої концентрації еквівалентних напружень, просторових переміщень та відносних деформацій, що дало змогу чітко визначити найбільш навантажені (критичні) ділянки конструкції комбінованого інструмента.

На основі результатів скінченно-елементного моделювання встановлено, що максимальні еквівалентні напруження, які виникають у тілі інструмента під дією розрахункових технологічних навантажень, не перевищують межі текучості матеріалу (сталі 40CrMnMo7). Отримані дані дозволяють зробити висновок про забезпечення необхідного коефіцієнта запасу міцності, що підтверджує надійність та працездатність спроектованого інструмента в заданих умовах експлуат.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора

На даному етапі розробляється керуюча програма (КП) для токарної обробки валу за два установи. Враховуючи габарити деталі та відношення довжини до діаметра, що становить 4,97 (що перевищує критичний показник 3), базування заготовки у виробничих умовах здійснюється в трикулачковому патроні з обов'язковим підтисканням заднім центром. З огляду на це, траєкторію різального інструмента під час підрізання торця обмежено безпечним діаметром для запобігання колізії різця з обертовим центром. Технологічна операція проєктується для токарного обробного центру СТХ 750, оснащеного системою ЧПК Fanuc. Програмування процесу та генерація G-коду виконується в САМ-середовищі FeatureCAM, при цьому налаштування застосованого постпроцесора наведено на рисунку 5.1.

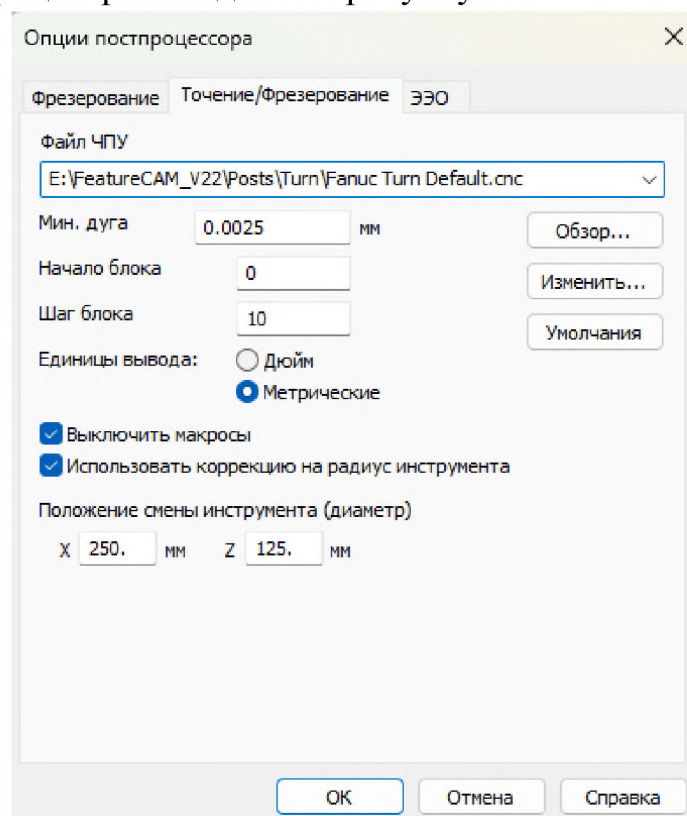


Рисунок 5.1 – Вибір опцій постпроцесора

					КНУ.КБР.131.26.2-01.05.МПМО							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Моделювання та програмування операції механічної обробки				Літ.		Арк.	Акрушіє
Розроб.		Багрії										
Перевір.		Рязанцев										
Реценз.									Кафедра ТМ, гр. ПМ-23ск			
Н. Контр.		Нечаєв										
Затверд.		Рязанцев										

5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм

Габаритні розміри заготовки визначаються на основі регламентованих припусків на механічну обробку та стандартного ряду діаметрів металопрокату. З урахуванням припуску 10 мм на максимальний діаметр та по 2,5 мм на підрізання кожного з торців, остаточні розміри заготовки становлять: $\varnothing 205$ мм, $L = 913$ мм. Для оптимізації та прискорення процесу розробки керуючої програми, 3D-модель деталі імпортується в робоче середовище САМ-системи. Це дозволяє автоматизувати генерацію керуючих кривих і розпізнавання конструктивних елементів. Результат імпорту відображено на рисунку 5.2.

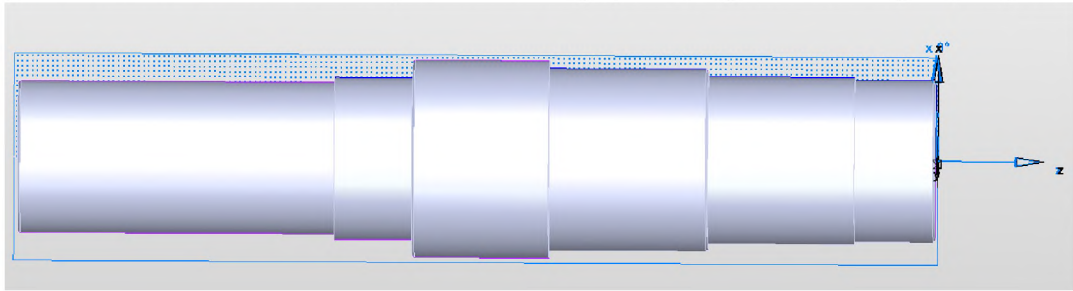


Рисунок 5.2 – Імпорт деталі у Autodesk FeatureCAM

Для першого установа заготовки проєктується наступний комплекс технологічних переходів:

- 1) підрізання торцевої поверхні;
- 2) точіння зовнішніх циліндричних поверхонь із залишенням припусків під подальше шліфування, а також формування фасок;

Діалогове вікно параметризації нового різального інструмента в середовищі САМ-системи наведено на рисунку 5.3. Візуалізацію результатів моделювання обробки для першого установа зображено на рисунку 5.4, а згенеровані траєкторії переміщення інструментів – на рисунку 5.5.

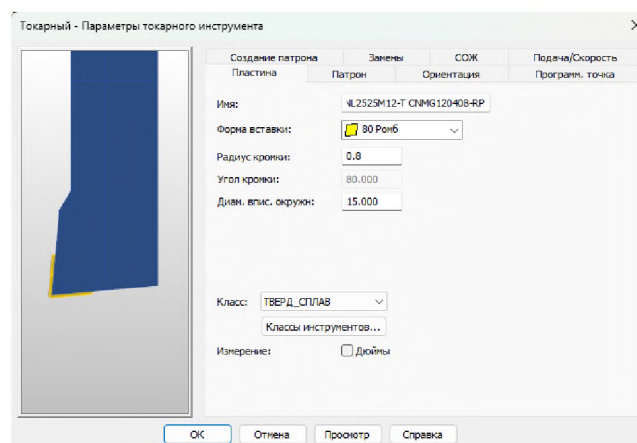


Рисунок 5.3 – Створення інструменту в середовищі FeatureCAM

					КНУ.КБР.131.26.2-01.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

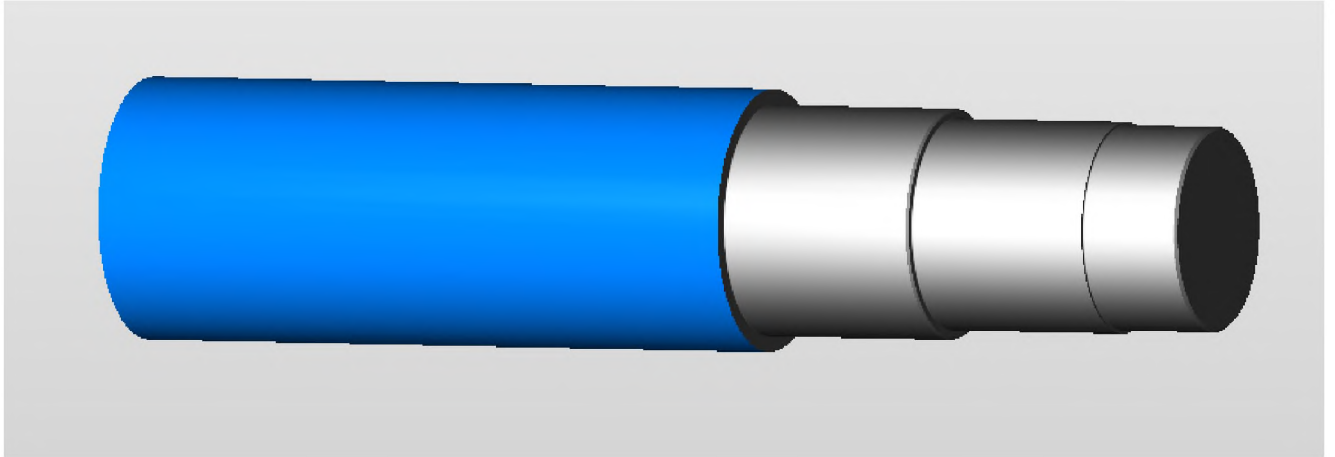


Рисунок 5.4 – Результат симуляції обробки першого установа

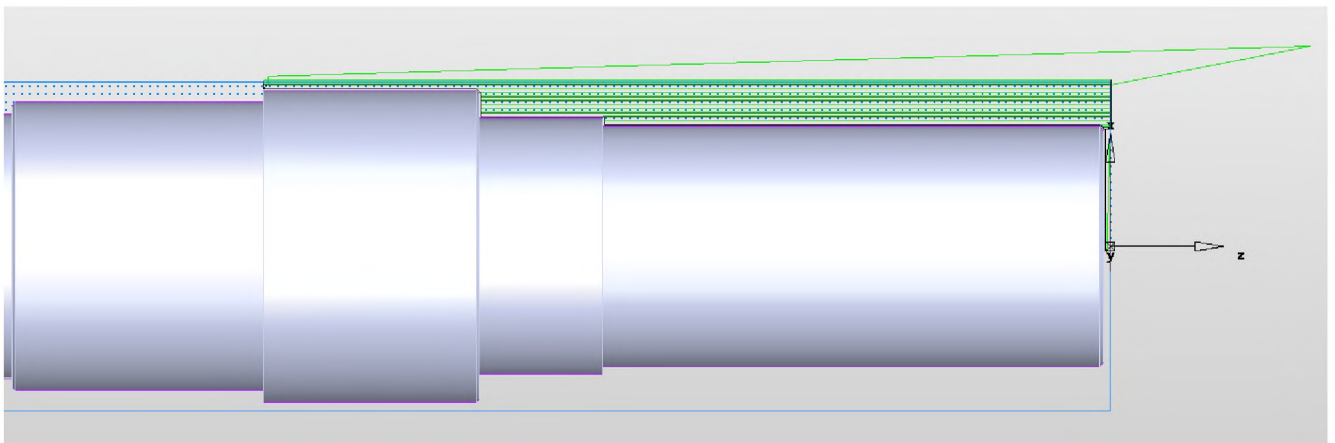


Рисунок 5.5 – Траєкторії переміщень інструментів на першому установі

Для другого установа заготовки проектується наступна послідовність технологічних переходів:

- 1) підрізання другого торця;
- 2) точіння зовнішніх циліндричних поверхонь із залишенням припусків під подальше шліфування та формування фасок.

Візуалізацію кінцевого результату обробки деталі після другого установа наведено на рисунку 5.6. Згенеровані траєкторії переміщення різального інструмента зображено на рисунку 5.7, а зведений перелік створених технологічних операцій із зазначенням розрахованих режимів різання – на рисунку 5.8.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.05.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

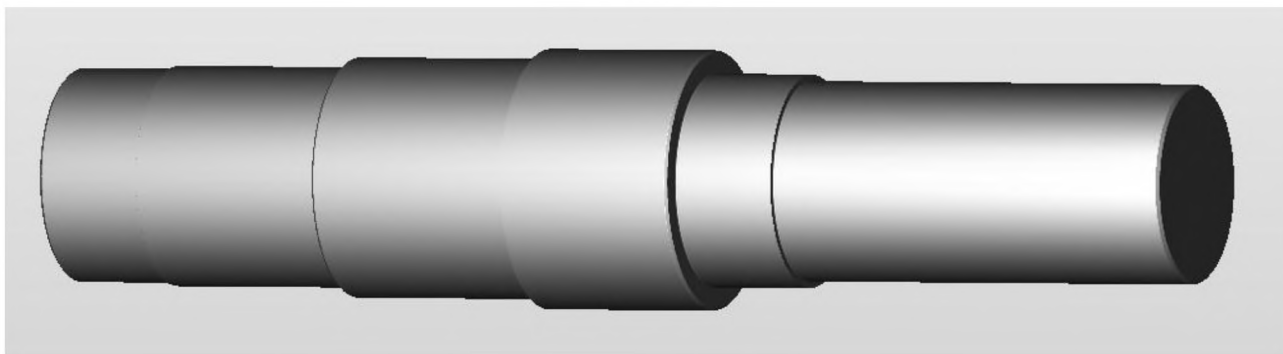


Рисунок 5.6 – Результат обробки другого установа

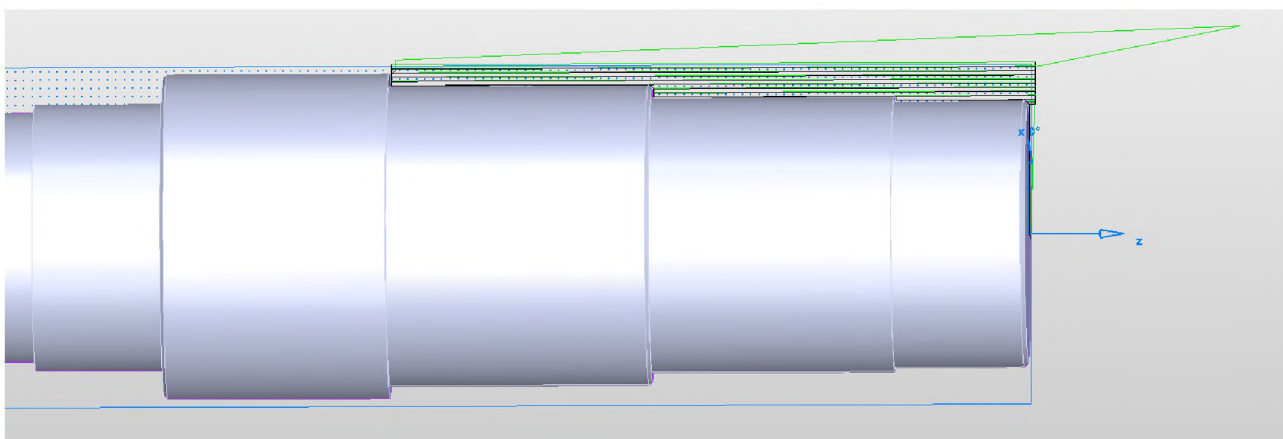


Рисунок 5.7 – Траєкторії переміщень інструментів на другому установі

С	Операция	Элемент	Инструмент	Подача	Скорость	Глубина
➔	черн. проход 1	перший установ	* DCLNL2525M...	* 0.800 мм/об	* 150 м/мин	ЧС 97.500 мм
	чист.	перший установ	DCLNL2525M1...	* 0.250 мм/об	* 180 м/мин	ЧС 97.500 мм
	с_остановом	с_остановом1				
	черн. проход 1	другий установ	DCLNL2525M1...	* 0.800 мм/об	* 150 м/мин	ЧС 97.500 мм
	чист.	другий установ	DCLNL2525M1...	* 0.250 мм/об	* 180 м/мин	ЧС 97.500 мм
	Результаты					

Рисунок 5.8 – Перелік створених операцій

Наступним етапом є проведення тривимірної симуляції процесу точіння у віртуальному середовищі верстата з метою перевірки траєкторій руху інструмента. Графічне відображення етапів моделювання представлено на рисунках 5.9 і 5.10.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

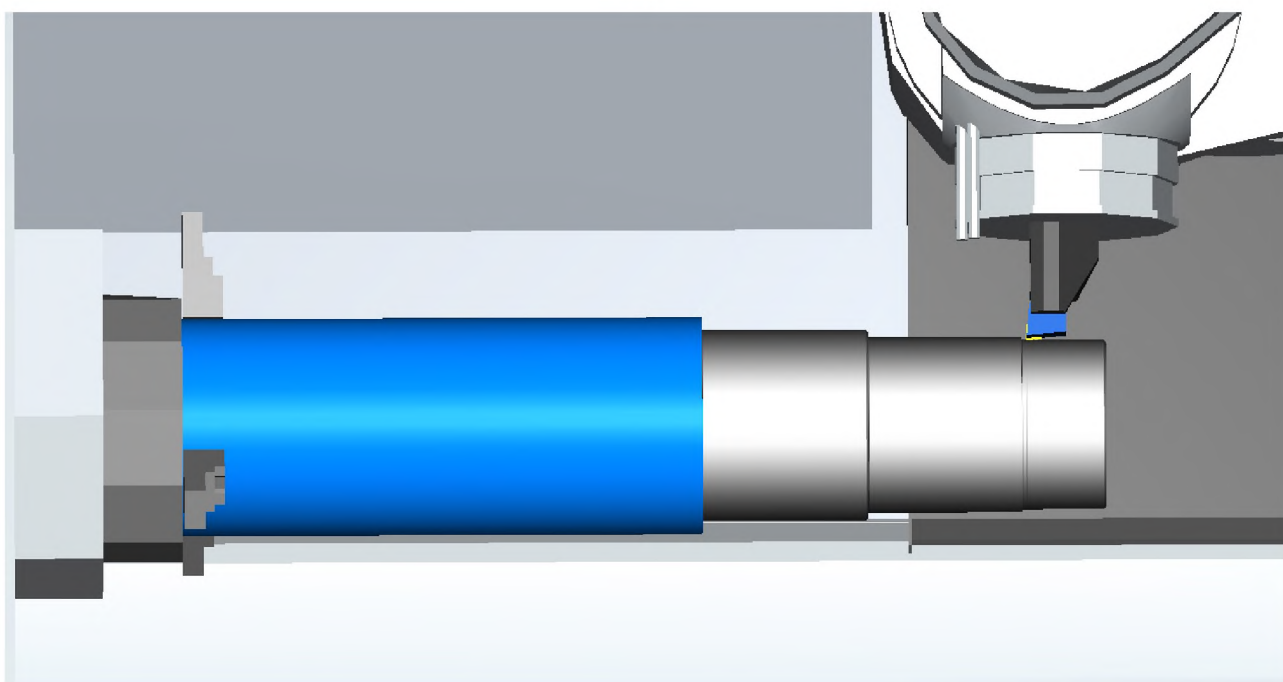


Рисунок 5.9 – Симуляція обробки першого установа на верстаті

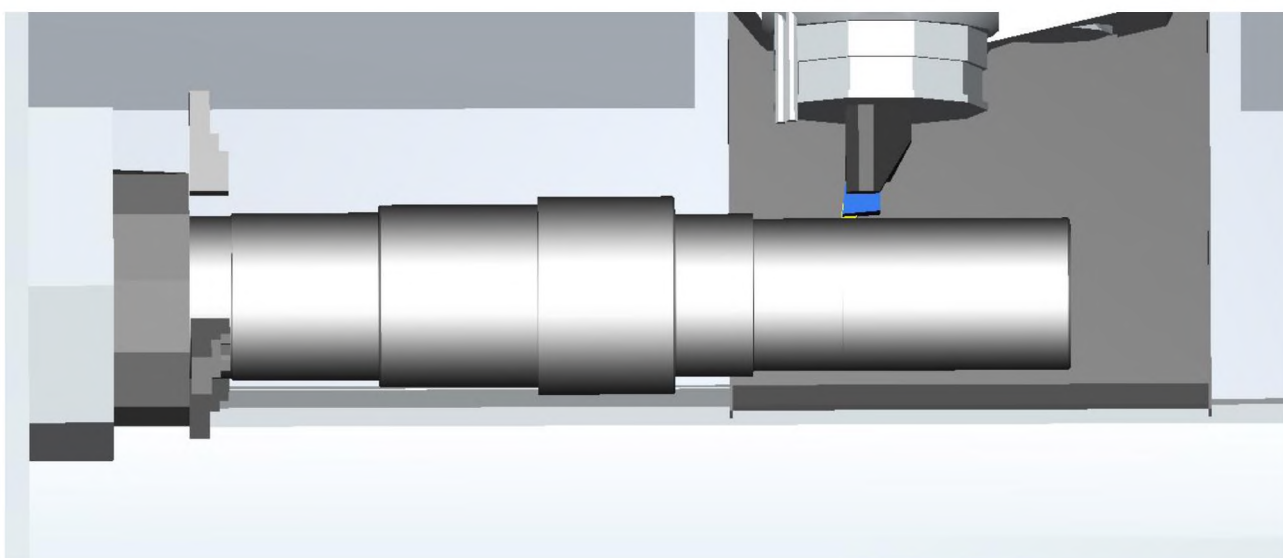


Рисунок 5.10 – Симуляція обробки другого установа на верстаті

Після успішного завершення комп'ютерного моделювання процесу обробки виконується постпроцесування та генерація тексту керуючої програми, фрагмент якої представлено на рисунку 5.12. З метою оптимізації G-коду та суттєвого скорочення кількості кадрів у програмі застосовано стандартні токарні цикли поздовжнього багатопрохідного точіння (G71). Загальний обсяг згенерованої керуючої програми становить 70 кадрів, а розрахунковий машинний час механічної обробки деталі складає 14 хв 1 с.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		


```

%
OPart1DP( FILENAME = Part1DP)
N20 G21 G40
N30 G28 U0
N40 G28 W0
( OPERATION: ROUGH TURN ПЕРШИЙ УСТАНОВ )
N60 T101
N70 G50 S3000
N80 G96 S150 M4
N90 G0 X211.0 Z1.0 M8
N100 G71 U2.5 R0.5
N110 G71 P120 Q270 U0.2 W0.1 F1.
N120 G1 X0. F0.
N130 Z-2.0
N140 X153.4
N150 G3 X154.531 Z-2.234 R0.8 F1.
N160 G1 X159.531 Z-4.734
N170 G3 X160.0 Z-5.3 R0.8
N180 G1 Z-82.0
N190 X163.4
N200 G3 X165.0 Z-82.8 R0.8
N210 G1 Z-227.0
N220 X174.4
N230 G3 X175.531 Z-227.234 R0.8
N240 G1 X179.531 Z-229.234
N250 G3 X180.0 Z-229.8 R0.8
N260 G1 Z-384.0
N270 X193.4
N280 G0 X211.0
( OPERATION: FINISH TURN ПЕРШИЙ УСТАНОВ )
N300 G0 Z1.0
N310 G50 S3000
N320 G96 S180
N330 G0 X211.0 Z1.0 M8
N340 G70 P120 Q270
( OPERATION: ROUGH TURN ДРУГИЙ УСТАНОВ )
N360 G0 Z-1.0
N370 G50 S3000
N380 G96 S150
N390 G0 X211.0 Z-1.0 M8
N400 G71 U2.5 R0.5
N410 G71 P420 Q560 U0.2 W0.1 F1.

```

Рисунок 5.11 – Фрагмент G-коду згенерованої керуючої програми

					КНУ.КБР.131.26.2-01.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників

Ось ще більш відшліфований та академічно строгий варіант цього тексту. Я виправив помилку з дублюванням пунктів, яка закралася у твій початковий текст, і трохи змінив формулювання, щоб воно виглядало максимально науково та ідеально підходило для економічного розділу дипломної роботи:

Під час техніко-економічного обґрунтування проєкту базовим критерієм оцінки виступає технологічна собівартість (ТС). Цей показник акумулює виключно ті статті витрат, величина яких прямо залежить від специфіки обраного маршруту механічної обробки, застосованих методів формоутворення та ступеня концентрації технологічних операцій.

Розрахунок ТС спрямований на вирішення комплексу інженерно-економічних завдань, зокрема:

Економічне обґрунтування найбільш раціонального варіанта технологічного процесу;

Підвищення продуктивності за рахунок оптимізації кількості переходів та інтенсифікації режимів різання;

Аналіз впливу обраного обладнання на фінальну вартість виробу;

Системне зниження виробничих витрат для забезпечення конкурентоспроможності продукції підприємства.

До калькуляційної бази технологічної собівартості включаються такі ключові статті прямих витрат:

Вартість основного матеріалу заготовки;

Фонд заробітної плати (основної та додаткової) робітників-верстатників;

Амортизаційні та експлуатаційні відрахування на технологічне обладнання, різальний інструмент і спеціальне оснащення;

Вартість спожитих під час обробки енергоресурсів;

Витрати на інжинірингову підготовку (зокрема, розробку та налагодження керуючих програм для верстатів із ЧПК);

Витрати на утримання безпосередньо задіяних виробничих площ.

Таким чином, підсумкова оцінка економічної ефективності розробленого технологічного процесу ґрунтується на порівняльному аналізі двох показників ТС: базового варіанта (обробка на універсальних верстатах) та проєктного (виготовлення вала із застосуванням сучасних обробних центрів із ЧПК).

					<i>КНУ.КБР.131.26.2-01.06.0ЕПВ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Багдрий</i>			<i>Організаційно-економічна підготовка виробництва</i>	Літ.	Арк.
Перевір.		<i>Рязанцев</i>					Акрушів
Реценз.							
Н. Контр.		<i>Нечаєв</i>				<i>Кафедра ТМ, гр. ПМ-23ск</i>	
Затверд.		<i>Рязанцев</i>					

Таблиця 6.1 – Технічні характеристики та вихідні дані об'єкта проектування

Вихідні дані					
Дані	Базовий варіант				Новий варіант
	2622A	6T13	2Г942	16K40	CTX 750
Деталь					
Річний обсяг випуску деталей N , шт.	1500				1500
Кількість запусків партій деталей в рік, шт	10				10
Тривалість випуску деталей Z , рік	2				2
Штучний час обробки деталі $t_{шт}$, хв.	9	16	10	11	14
Час наладки верстата, хв.	18	14	10	8	25
Розряд: контролера верстатника наладчика наладчика інструменту	5				5
	4	3	4	3	2
	3	3	3	3	5
		4			4
Кількість кадрів програми, шт.					300
Вартість заготовки $S_{заг}$, грн.	4250				4250
Вартість комплексу спец. пристосувань $K_{пр}$, грн	26000	34000	18000	47500	180000
Оптова ціна на прокат одного УСП $\Pi_{усп}$, грн					
Середній час налагодження за прибором одного інструменту поза верстатом, хв.	2	3	0,5	2	2
Середній період стійкості інструменту, хв.	50	40	60	55	150
Середня кількість граней пластинки, шт.	1	1	1	1	4
Коефіцієнт, що враховує питому вагу основного часу в штучному k_t	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083
Вартість одного кадру ПК, грн.					8,9
Вартість розробки ПК $K_{рк}$, грн.					3750
Середньочасова зарплатня робітника, грн:					
верстатника $N_{ст}$ наладчика $N_{нал}$	145	140	140	135	185
	160	155	160	150	200
наладчика інструмента $N_{ін}$	120	115	125	130	170
контролера N_k	120				145

					КНУ.КБР.131.26.2-01.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2 – Техніко-економічні характеристики та вихідні дані обладнання

<i>Верстати</i>					
Клас точності верстата	Н	Н	Н	Н	А
Маса верстата, т	11,8	11,4	4,2	4,7	12,7
Габарити верстата (довжина х ширина), м.	<i>5,5 х 3,2</i>	<i>5,825 х 2</i>	<i>2,56 х 2,26</i>	<i>2,665 х 1</i>	<i>5,59 х 2,45</i>
Габарити пристрою ЧПК, м					<i>0,5 х 0,5</i>
Тип пристрою ЧПК					<i>FANUC 3i-TD2</i>
Строк служби верстата до капітального ремонту $T_{рп}$, років	<i>7</i>	<i>7</i>	<i>7</i>	<i>7</i>	<i>10</i>
Встановлена потужність всіх електродвигунів головного руху, кВт	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>50</i>
Категорія складності ремонту верстата ЕРС:					
механічної частини R_m	32,6	30,4	19	21	36,9
електротехнічної частини R_e	15,2	14	9,8	9,2	22,6
Кількість верстатів, що обслуговує один робочий d , шт	1	1	1	1	2
Оптова ціна верстата Π , грн.	180000	220000	165000	254000	3000000
Коефіцієнт завантаження верстата η_z	0,72	0,72	0,74	0,74	0,96
Площа верстата за габаритами A , м. кв.	17,6	11,7	5,8	2,7	13,7
Площа пристрою ЧПК A_y , м. кв.					0,25
Витрати на одну одиницю ЕРС верстата, грн.					
механічної частини H_m	362	385	400	360	385
електротехнічної частини H_e	110	124	96	102	100
Норматив річних витрат на поточне обслуговування та ремонт ПЧПК Q , грн.	0	0	0	0	2460
Коеф., що враховує додаткову площу верстата, γ	3	2,5	2,5	1,5	3,5
Коеф., що враховує клас точності верстата, μ	1	1	1	1	1,8
Ефективний річний фонд часу роботи верстата $\Phi_{об}$, год	3975	3975	3975	3975	3845

					КНУ.КБР.131.26.2-01.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.3 – Вихідні дані та характеристики виробничої дільниці

Виробничі та інші площі					
Вартість 1 м. кв. площі механічної Цпл.зд., грн	560				560
Вартість 1 м. кв. площі, що займають службово-побутові приміщення Цсл. поб, грн	1250				1250
Площа службово-побутових приміщень, що приходяться на одного робочого А6, м. кв.	7				7
Витрати на утримання та амортизаційні витрати на 1 м. кв. цеху Нпл, грн.	180	180	180	180	200

Таблиця 6.4 – Вихідні данні допоміжних показників

Розрахунок допоміжних показників					
Дані	Базовий варіант				Новий варіант
	2622A	6T13	2Г942	16K40	CTX 750
Трудомісткість обробки $T_{шт}$, год	400	400	250	275	1500
Час наладки верстата впродовж року $T_{н}$, год	3	2,333333	1,66667	1,33333	4,166666667
Час наладки інструмента поза верстатом впродовж року $T_{н.ін}$, год	4,1354	3,24	2,16667	10,4	25,00
Час контролю деталей впродовж року $T_{к}$, год	33,2	33,2	20,75	22,825	124,5
Кількість верстатників $P_{ст}$, чол. (розрах.)	0,22	0,22	0,13	0,15	0,40
(дійсна)	1	1	1	1	1
Кількість наладчиків верстатів $P_{н}$, чол. (розрахункова)	0,0016	0,0013	0,0009	0,0007	0,0022
(дійсна)	1	1	1	1	1
Кількість наладчиків інструмента поза верстатом $P_{н.ін}$, чол. (розрахункова)	0,0022	0,0017	0,00116	0,00559	0,01344
(дійсна)	1	0	1	1	1
Кількість контролерів $P_{к}$, чол. (розрах.)	0,02	0,02	0,011	0,01	0,07
(дійсна)	1				1
Додаткова кількість робочих по обслуговуванню верстатів з ЧПК $P_{дод}$, чол (розрахункова)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
(дійсна)	0	0	0	0	1
Загальна кількість працівників на річну програму випуску деталей, чол.	12				5
Частка завантаження верстата обробкою деталі в обсязі річного випуску β	0,14	0,18	0,0856	0,094	0,41

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.26.2-01.06.0ЕПВ

Арк.

З метою оптимізації та підвищення точності обчислювального етапу проектування було розроблено й застосовано автоматизовану розрахункову модель у програмному середовищі MS Excel.

На основі створеного алгоритму виконано калькуляцію технологічної собівартості механічної обробки заготовки для всього заданого обсягу річної програми випуску деталей.

Таблиця 6.5 – Порівняльна характеристика технологічної собівартості річної програми випуску деталей

Собівартість механічної обробки річного випуску деталей																									
$C = I_1 + I_2 + I_{11} + I_{12} + I_{13} + I_{14} + I_{15} + I_6 + I_{16} + I_{17} + I_{18} + I_{19} + I_{20}$																									
де I_1 – зарплата верстатника;						I_{11} – витрати на утримання приміщення, яке займає верстат;																			
I_2 – зарплата за наладку верстата;						I_{12} – витрати на амортизацію і утримання службово-побутових приміщень;																			
I_{11} – зарплата наладжувальника інструмента поза верстатом;						I_{13} – витрати на ремонт та технічне обслуговування обладнання;																			
I_{12} – витрати на підготовку та поновлення керуючої програми						I_{14} – витрати на технічне обслуговування і ремонт ЧПК;																			
I_{13} – витрати на ремонт та утримання спеціальних пристосує						I_{15} – зарплата контролера							C_1 на деталь =	340,73											
I_{14} – витрати на прокат універсально-збірних пристосувань при їх використанні;													C_2 на деталь =	288,60											
I_{15} – амортизаційні відрахування на повне відновлення обладнання;																									
	I_1	I_2	I_{11}	I_{12}	I_{13}	I_{14}	I_{15}	I_6	I_{16}	I_{17}	I_{18}	I_{19}	I_{20}												
$C_1 =$	307729	+	2057,33	+	2670,48	+	0,00	+	67770	+	0	+	4248,75	+	2572,82	+	105000	+	5845,5	+	0,0	+	13197,00	=	511090,96
$C_2 =$	230619	+	1310,40	+	234,00	+	1875	+	97200	+	0	+	23760,00	+	3024,00	+	43750	+	12078,2	+	1002,5	+	18052,5	=	432905,70

Надалі виконується калькуляція витрат на основну та додаткову заробітну плату виробничого персоналу I_3 .

Таблиця 6.6 – Структура фонду оплати праці верстатників (основна та додаткова заробітна плата) I_3

1. Зарплата верстатника (основна та додаткова) I_1		Базовий варіант					Новий варіант				
$I_1 = \text{Нет.зар} \cdot T_{\text{шт}} / d$		$I_1 = \text{Нет.зар} \cdot T_{\text{шт}} / d$					$I_1 = \text{Нет.зар} \cdot T_{\text{шт}} / d$				
де Нет.зар – середньочасова заробітна платня верстатників зі усіма нарахуваннями, грн.;		2622A	96403	241,01	400	1	CTX 750	230619	307,49	1500	2
$T_{\text{шт}}$ – час обробки деталей в обсязі їх річного випуску, год;		6T13	91446	228,61	400	1	Всього I_{12}	230619			
d – кількість верстатів, які обслуговує один робочий		2Г942	58174	232,70	250	1					
$\text{Нет.зар} = \text{Нет} + Z_d + C_{\text{випр}} + C_{\text{прем}}$		16K40	61706	224,3862	275	1					
де Нет – тарифна ставка верстатника, грн;		Всього I_{11}	307729								
Z_d – додаткова заробітна платня, 8%											
$C_{\text{випр}}$ – відрахування на соціальне страхування, 12%											
$C_{\text{прем}}$ – преміальні доплати, 35%											

На наступному етапі обчислень визначаються витрати на оплату праці наладчика технологічного устаткування I_H .

Таблиця 6.7 – Показники витрат на оплату праці за налагодження верстата I_H

2. Зарплатня за наладку верстата I_H

$$I_H = N_{\text{нал.лаг}} \cdot T_H$$

де $N_{\text{нал.лаг}}$ – середньочасова зарплатня наладчиків з усіма нарахуваннями, грн;
 T_H – час наладки верстата впродовж року, год

$$N_{\text{нал.лаг}} = N_{\text{нал}} + Z_d + C_{\text{аіпр}} + C_{\text{спрем}}$$

де $N_{\text{нал}}$ – тарифна ставка наладчика, грн;
 Z_d – додаткова заробітна платня, 8%
 $C_{\text{аіпр}}$ – відрахування на соціальне страхування, 12%
 $C_{\text{спрем}}$ – преміальні доплати, 30%

$$T_H = t_H \cdot j_p / 60$$

де t_H – час наладки верстата для обробки партій деталей, хв;
 j_p – кількість запусків партій деталей за рік

Базовий варіант				Новий варіант			
	$I_H =$	$N_{\text{нал}}$	T_H		$I_H =$	$N_{\text{нал}}$	T_H
2622A	754,79	251,60	3	CTX 750	1310,40	314,50	4,167
6T13	568,71	243,73	2,33333	Всього I_{H2}	1310,40		
2Г942	419,33	251,60	1,66667				
16K40	314,50	235,87	1,33333				
Всього I_{H1}	2057,33						

Наступним етапом є калькуляція витрат на оплату праці наладчика, задіяного на операціях підготовки та налаштування різального інструменту поза верстатом N_{iH} .

Таблиця 6.8 – Показники витрат на оплату праці наладчика інструменту поза верстатом, N_{iH}

3. Зарплатня налагоджувальника інструмента поза верстатом, N_{iH}

$$N_{iH} = N_{iH} \cdot T_{iH}$$

де N_{iH} – середньочасова зарплатня наладчика, грн;

T_{iH} – час, який затрачується на налагодження інструмента поза верстатом, хв

$$T_{iH} = 1,3 \cdot t_{iH} \cdot T_{шт} \cdot k_T / (T \cdot n_{\Gamma})$$

де 1,3 – коеф., що враховує випадкову втрату інструменту та його вихід з ладу;
 t_{iH} – середній час налагодження за прибором одного інструмента, хв.;
 $T_{шт}$ – час обробки деталей в обсязі їх річного випуску поза верстатом з ЧПК, год;
 k_T – коеф., який враховує питому вагу основного часу в штучному і дорівнює 0,7...0,85;
 T – середній період стійкості інструменту, хв.;

n_{Γ} – кількість граней пластинки, що не переточується

Базовий варіант				Новий варіант			
	$N_{iH} =$	N_{iH}	T_{iH}		$N_{iH} =$	N_{iH}	T_{iH}
2622A	496,2516	120	4,13543	CTX 750	1390,00	55,6	25,00
6T13	551,40	170	3,24	Всього N_{iH2}	1390,00		
2Г942	270,83	125	2,16667				
16K40	1352,00	130	10,4				
Всього N_{iH1}	2670,48						

					КНУ.КБР.131.26.2-01.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На наступному етапі обчислень визначається стаття витрат на розробку, підготовку та технологічне поновлення керуючих програм $I_{пк}$ для верстатного обладнання з ЧПК.

Таблиця 6.9 – Структура витрат $I_{пк}$ на підготовку та супровід програмного забезпечення для верстатів із ЧПК

4. Витрати на підготовку та поновлення керуючої програми $I_{пк}$				Базовий варіант			Новий варіант		
$I_{пк} = K_{пк} / Z$	2Г942	$I_{пк} =$	$K_{пк} / Z$	2622A	$I_{пк} =$	$K_{пк} / Z$	СТХ 750	$I_{пк} =$	$K_{пк} / Z$
		0	0 1500		0	0 2		1875	3750 2
	16К40	$I_{пк} =$	$K_{пк} / Z$	6Т13	$I_{пк} =$	$K_{пк} / Z$	Всього $I_{пк2}$	1875	
		0	0 1500		0,00	0 2			
				Всього $I_{пк1}$	0,00				

Надалі визначається стаття витрат на амортизацію, поточний ремонт та експлуатаційне утримання спеціальних пристосувань $I_{\text{пр}}$.

Таблиця 6.10 – Структура витрат на технічне обслуговування та амортизацію спеціальних пристосувань $I_{пр}$.

5. Витрати на ремонт та утримання спеціальних пристосувань	<u>Базовий варіант</u>			Новий варіант		
$I_{np} = K_{np} (1/Z + 0,04)$	$I_{np} =$	K_{np}	$\cdot (1/Z + 0,04)$	$I_{np} =$	K_{np}	$\cdot (1/Z + 0,04)$
де 0,04 – коеф., що враховує витрати на ремонт спеціальних пристосувань	2622A	14040	26000 0,5	CTX 750	97200	180000 0,5
	6T13	18360	34000 0,5	Всього I _{ін2}	97200	
	2Г942	9720	18000 0,5			
	16К40	25650	47500 0,5			
	Всього I _{ін1}	67770				

На наступному етапі обчислень визначається стаття витрат на експлуатаційний прокат та використання універсально-збірних пристосувань $I_{\text{всп.}}$ у виробничому процесі.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.11 – Показники витрат на прокат пристосувань типу УЗП $I_{усп}$

6. Витрати на прокат універсально-збірних пристосувань при їх використанні $I_{усп}$

$I_{усп} = C_{усп} \cdot j_p$
де $C_{усп}$ – оптова ціна за прокат одного пристосування, грн

Базовий варіант				Новий варіант			
2622A	$I_{усп} =$	$C_{усп}$	$\cdot j_p$	CTX 750	$I_{усп} =$	$C_{усп}$	$\cdot j_p$
	0	0	10		0	0	10
6T13	$I_{усп} =$	$C_{усп}$	$\cdot j_p$	Всього $I_{усп2}$	0		
	0	0	10				
2Г942	$I_{усп} =$	$C_{усп}$	$\cdot j_p$				
	0	0	10				
16K40	$I_{усп} =$	$C_{усп}$	$\cdot j_p$				
	0	0	10				
Всього $I_{усп1}$	0						

На наступному етапі обчислень визначається величина амортизаційних відрахувань на повне відновлення та реновацію технологічного обладнання I_a .

Таблиця 6.12 – Структура амортизаційних витрат на реновацію та відновлення основних виробничих фондів I_a

7. Амортизаційні відрахування на повне відновлення обладнання I_a

$I_a = K_6 \cdot A$

де A – норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення верстата, що приймається:

- для верстатів масою до 10 т, які оброблюють деталі металевими та абразивними інструментами, відповідно – 0,053 та 0,056;
- для верстатів масою вище 10 т – 0,04 та 0,042 відповідно

Базовий варіант				Новий варіант			
2622A	$I_a = K_6 \cdot A$			CTX 750	$I_a = K_6 \cdot A$		
	1115,22	27881	0,04		23760,00	594000	0,04
6T13	$I_a = K_6 \cdot A$			Всього I_{a2}	23760,00		
	1742,40	43560	0,04				
2Г942	$I_a = K_6 \cdot A$						
	0,00	15529	0				
16K40	$I_a = K_6 \cdot A$						
	1391,13	26248	0,053				
Всього I_{a1}	4248,75						

Надалі виконується калькуляція витрат, пов'язаних з амортизацією та утриманням виробничих приміщень $I_{пл}$ у розрахунку на робочу зону верстата.

Таблиця 6.13 – Показники витрат на утримання виробничої площі верстата $I_{пл}$.

8. Витрати на утримання приміщення, яке займає верстат $I_{пл}$

$I_{пл} = H_{пл} \cdot (A + A_0) \cdot \gamma \cdot \beta$

де $H_{пл}$ – вартість амортизації та утримання 1 м. кв. площі механічного цеху

- для верстатів класів точності Н та П – 180 грн
- для верстатів класів точності В та ОВ – 200 грн

Базовий варіант							Новий варіант						
2622A	$I_{пл} = H_{пл} \cdot (A + A_0) \cdot \gamma \cdot \beta$						CTX 750	$I_{пл} = H_{пл} \cdot (A + A_0) \cdot \gamma \cdot \beta$					
	1338,26	180	17,6	0	3	0,14		3979	200	13,7	0,25	3,5	0,41
6T13	$I_{пл} = H_{пл} \cdot (A + A_0) \cdot \gamma \cdot \beta$						Всього $I_{пл2}$	3979,24					
	943,65	180	11,65	0	2,5	0,18							
6P13П	$I_{пл} = H_{пл} \cdot (A + A_0) \cdot \gamma \cdot \beta$												
	223,30	180	5,8	0	2,5	0,09							
2M55	$I_{пл} = H_{пл} \cdot (A + A_0) \cdot \gamma \cdot \beta$												
	67,60	180	2,665	0	1,5	0,09							
Всього $I_{пл1}$	2572,82												

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.26.2-01.06.0ЕПВ

Арк.

Наступним кроком є розрахунок витрат на амортизацію та утримання службово-побутових приміщень $I_{сл}$.

Таблиця 6.14 – Структура витрат на експлуатаційне обслуговування та амортизацію допоміжних приміщень цеху $I_{сл}$

9. Витрати на амортизацію і утримання службово-побутових приміщень $I_{сл}$

$$I_{сл} = H_{пл} \cdot A_6 \cdot (P_{ст} + P_n + P_{доп} + P_k)$$

Базовий варіант						
$K_{сл} =$	$C_{пл.б}$	A_6	$(P_{ст} +$	$P_n +$	$P_{доп} +$	$P_k)$
105000	1250	7	4	7	0	1
Всього $K_{сл1}$	105000					

Новий варіант						
$K_{сл} =$	$C_{пл.б}$	A_6	$(P_{ст} +$	$P_n +$	$P_{доп} +$	$P_k)$
43750	1250	7	1	2	1	1
Всього $K_{сл2}$	43750					

Надалі виконується калькуляція витрат, пов'язаних із планово-запобіжним ремонтом та поточним технічним обслуговуванням верстатного парку I_p .

Таблиця 6.15 – Показники витрат на ремонт та технічне обслуговування обладнання I_p

10. Витрати на ремонт та технічне обслуговування обладнання I_p

$$I_p = (H_m \cdot R_m + H_e \cdot R_e) \cdot \mu \cdot \beta$$

де H_m, H_e – витрати на одиницю ремонтної складності відповідного механічної та електротехнічної частин, грн.;
 R_m, R_e – ремонтна складність відповідно механічної та електротехнічної часток, що приймається за паспортом верстата, а для деяких верстатів ЧПК;
 μ – коефіцієнт, який враховує клас точності верстата, що приймається для класів точності Н, П, В, А, С – відповідно 1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2

Базовий варіант							
2622A	$I_p =$	$(H_M \cdot R_M +$	$H_e \cdot R_e) \cdot$	$\mu \cdot$	β		
	1897,2	362	32,6	110	15,2	1	0,14
6T13	$I_p =$	$(H_M \cdot R_M +$	$H_e \cdot R_e) \cdot$	$\mu \cdot$	β		
	2419,2	385	30,4	124	14	1	0,18
6P13П	$I_p =$	$(H_M \cdot R_M +$	$H_e \cdot R_e) \cdot$	$\mu \cdot$	β		
	730,7	400	19	96	9,8	1	0,09
2M55	$I_p =$	$(H_M \cdot R_M +$	$H_e \cdot R_e) \cdot$	$\mu \cdot$	β		
	798,4	360	21	102	9,2	1	0,09
Всього I_{p1}	5845,5						

Новий варіант									
СТХ 750	$I_p =$	$(H_m \cdot R_m + H_e \cdot R_e) \cdot \mu \cdot \beta$	12078,2	385	36,9	100	22,6	1,8	0,41
Всього I_{p2}	12078,2								

На наступному етапі обчислень визначається стаття витрат на технічне обслуговування, поточний ремонт та сервісний супровід систем ЧПК I_y .

					КНУ.КБР.131.26.2-01.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.16 – Структура витрат на поточне обслуговування та відновлення електронних компонентів пристроїв ЧПК $И_v$

11. Витрати на технічне обслуговування і ремонт ЧПК Π_y

$$\mathbf{I}_y = \mathbf{Q} \cdot \beta$$

де Q – річні витрати при експлуатаванні у дві зміни і повній загрузці верста з ЧПК, грн

Базовий варіант				Новий варіант			
2622A	$I_y =$	$Q \cdot \beta$		CTX 750	$I_y =$	$Q \cdot \beta$	
	0	0	0,14		1002,5	2460	0,41
6T13	$I_y =$	$Q \cdot \beta$		Всього I_{y2}	1002,5		
	0	0	0,18				
6P13П	$I_y =$	$Q \cdot \beta$					
	0	0	0,09				
2M55	$I_y =$	$Q \cdot \beta$					
	0	0	0,09				
Всього I_{y1}	0,0						

Надалі виконується калькуляція статті витрат на заробітну плату контрольного персоналу I_K , задіяного на етапі технічного контролю деталей.

Таблиця 6.17 – Показники витрат на заробітну плату контролера I_k

12. Зарплата контролера I_k

$$\mathbf{H}_K = \mathbf{H}_K \cdot \mathbf{T}_K$$

де H_k – середньочасова заробітна платня контролера 5-го розряду, грн.;

розряду, грн.:

T_k – час контроля деталей впродовж року, год.

Для базових верстатів:

$$T_{K1} = 0,083 \cdot T_{HT}$$

де 0,083 – середньостатистична частка
трудомісткості контрольних операцій

Для обработки на верстатах с ЧПК

$$T_{\kappa 1} = 0,2 \cdot T_{\text{шт}}$$

Базовий варіант			Новий варіант		
2622A	Ик = Нк · Тк 3984,00	120 33,20	CTX 750	Ик = Нк · Тк 18052,5	145 124,5
6Т13	Ик = Нк · Тк 3984,00	120 33,20	Всього Ик2	18052,5	
6Р13П	Ик = Нк · Тк 2490,00	120 20,75			
2М55	Ик = Нк · Тк 2739,00	120 22,83			
Всього Ик1	13197,00				

Наступним кроком є визначення величини капітальних вкладень споживача $K_{СП}$.

Таблиця 6.18 – Показники сумарних капітальних витрат $K_{СП}$ зі сторони споживача технологічного процесу

Капітальні вкладення споживача

$$K = K_{\delta} + K_{\text{зд}} + K_{\text{сл}} + K_{\text{нез}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{п.у.}}$$

де Кб – балансова вартість верстата, грн;

$K_{зд}$ – вартість приміщення, яке займає верстат, грн.;

$K_{сл}$ – вартість службово-побутових приміщень, грн.;

$K_{\text{нез}}$ – обігові кошти в незакінченому виробництві, грн.;

$K_{\text{пр}}$ – вартість комплексу спеціальних пристосувань, які використовуються на верстатах при обробці деталей, грн.;

К_{п.у.} – витрати на створення керуючої програми (КП), грн.

	K_6		$K_{зд}$		$K_{сл}$		$K_{вез}$		$K_{пр}$		$K_{п.у.}$	
$K_1 =$	113217	+	8004	+	105000	+	995200	+	125500	+	0	= 1346921
$K_2 =$	594000	+	4921.56	+	35000	+	711877	+	180000	+	3750	= 1529548.47

					КНУ.КБР.131.26.2-01.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Надалі виконується обчислення повної балансової вартості верстата K_6 з урахуванням витрат на його транспортування та монтаж.

Таблиця 6.19 – Структура формування балансової вартості технологічного обладнання K_6

1. Балансова вартість верстата K_6

$$K_6 = Ц \cdot \alpha \cdot \beta$$

де $Ц$ – оптова ціна верстата, грн

α – коеф., що враховує витрати на доставку та

встановлення верстата та приймається рівним 1,1;

β – частка завантаження верстата

$$\beta = T_{\text{шт}} + T_{\text{н}} / (\Phi_{\text{об}} \cdot \eta_p)$$

Базовий варіант				
2622A	$K_6 =$	$Ц$	$\cdot$	$\alpha \cdot \beta$
	27881	180000,00	1,1	0,14
6Т13	$K_6 =$	$Ц$	$\cdot$	$\alpha \cdot \beta$
	43560	220000,00	1,1	0,18
2Г942	$K_6 =$	$Ц$	$\cdot$	$\alpha \cdot \beta$
	15529	165000	1,1	0,09
16К40	$K_6 =$	$Ц$	$\cdot$	$\alpha \cdot \beta$
	26248	254000	1,1	0,09
Всього K_6	113217			

Новий варіант				
СТХ 750	$K_6 =$	$Ц$	$\cdot$	$\alpha \cdot \beta$
	594000	3000000,00	1,1	0,18
Всього K_6	594000			

На наступному етапі обчислень визначається капітальна вартість виробничих приміщень $K_{зд}$, які безпосередньо займає технологічне обладнання.

Таблиця 6.20 – Структура формування вартості площі приміщення, що займає верстат $K_{зд}$

2. Вартість приміщень, які займає верстат $K_{зд}$

$$K_{зд} = Ц_{\text{пл.зд}} (A + A_y) \cdot \gamma \cdot \beta$$

де $Ц_{\text{пл.зд}}$ – вартість 1 м. кв. площі механічного цеху;

A – площа, яку займає верстат по габаритах, м. кв.;

A_y – площа, яку займають виносні, допоміжні пристрої, м. кв.;

γ – коефіцієнт, який враховує додаткову площу

Базовий варіант						
2622A	$K_6 =$	$Ц_{\text{пл.зд}}$	$(A + A_y)$	$\cdot$	$\gamma \cdot \beta$	
	4163	560	17,6	0	3	0,14
6Т13	$K_6 =$	$Ц_{\text{пл.зд}}$	$(A + A_y)$	$\cdot$	$\gamma \cdot \beta$	
	2936	560	11,65	0	2,5	0,18
2Г942	$K_6 =$	$Ц_{\text{пл.зд}}$	$(A + A_y)$	$\cdot$	$\gamma \cdot \beta$	
	695	560	5,8	0	2,5	0,09
16К40	$K_6 =$	$Ц_{\text{пл.зд}}$	$(A + A_y)$	$\cdot$	$\gamma \cdot \beta$	
	210	560	2,665	0	1,5	0,09
Всього $K_{зд}$	8004					

Новий варіант						
СТХ 750	$K_6 =$	$Ц_{\text{пл.зд}}$	$(A + A_y)$	$\cdot$	$\gamma \cdot \beta$	
	4921,56	560	13,7	0,25	3,5	0,18
Всього $K_{зд}$	4921,56					

Наступним кроком є розрахунок вартості службово-побутових приміщень $K_{сл}$.

Таблиця 6.21 – Структура формування вартості допоміжних та службово-побутових площ $K_{сл}$.3. Вартість службово-побутових приміщень $K_{сл}$

$$K_{сл} = Ц_{пл.б} \cdot A_б \cdot (P_{ст} + P_n + P_{под} + P_k)$$

де $Ц_{пл.б}$ – вартість 1 м. кв. службово-побутових приміщень, грн;

$A_б$ – площа службово-побутових приміщень, яка приходить на одного робочого;

$P_{ст}$, P_n , $P_{под}$ – кількість відповідно верстатників, наладчиків та додаткових робочих по обслуговуванню верстатів з ЧПК;

P_k – кількість контролерів

Базовий варіант						
$K_{сл} =$	$Ц_{пл.б}$	$\cdot A_б$	$\cdot (P_{ст} +$	$P_n +$	$P_{под} + P_k)$	
105000	1250	7	4	7	0	1
Всього $K_{сл1}$	105000					

Новий варіант						
$K_{сл} =$	$Ц_{пл.б}$	$\cdot A_б$	$\cdot (P_{ст} +$	$P_n +$	$P_{под} + P_k)$	
35000	1250	7	1	2	0	1
Всього $K_{сл2}$	35000					

На заключному етапі обчислень визначається норматив обігових коштів, авансованих у незавершене виробництво

Таблиця 6.22 – Обігові кошти в незакінченому виробництві $K_{нез}$.4. Обігові кошти в незакінченому виробництві $K_{нез}$

$$K_{нез} = 3 \cdot n'' \cdot (S_{заг} + C / N_{річн} \cdot 0,5) \cdot \beta$$

де 3 – число партій деталей, які приходяться всередньому на одне робоче місце;

n'' – розмір налагодочної партії деталей (партії запуску), шт.

$$n'' = N_{річн} / j_p$$

$S_{заг}$ – вартість заготовки, грн;

C – собівартість механічної обробки річного випуску деталей, грн;

0,5 – коеф. наростання витрат

Базовий варіант						
$K_{нез} =$	3	$\cdot n''$	$\cdot (S_{заг} +$	$C / N_{річн}$	$\cdot 0,5) \cdot \beta$	
995200,21		150	4250	511090,96	1500	0,50
Всього $K_{сл1}$	995200					

Новий варіант						
$K_{нез} =$	3	$\cdot n''$	$\cdot (S_{заг} +$	$C / N_{річн}$	$\cdot 0,5) \cdot \beta$	
711876,91		150	4250	432905,70	1500	0,36
Всього $K_{сл1}$	711877					

Підсумкові результати розрахунку капітальних і експлуатаційних витрат представлені нижче:

Таблиця 6.23 – Комплексні результати техніко-економічних показників та рентабельності проєкту.

Приведені витрати				Строк окупності				
$З_1 =$	$C_1 +$	$E_n \cdot$	K_1	$T_{ок} =$	$(K_2 -$	$K_1) /$	$(C_1 -$	$C_2)$
713129	511091	0,15	1346921	2,3358	1529548,47	1346921	511090,96	432905,70
$З_2 =$	$C_2 +$	$E_n \cdot$	K_2					
662338	432906	0,15	1529548					
Річний економічний ефект								
$E =$	$З_1 -$	$З_2$						
50791,1872	713129,2	662338						

					КНУ.КБР.131.26.2-01.06.0ЕПВ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

6.2 Охорона праці та екологія виробництва

Організаційно-економічна підготовка виробництва передбачає обов'язкове врахування вимог охорони праці та екологічної безпеки. Комплексний підхід до цих питань дозволяє оптимізувати виробничі процеси, підвищити продуктивність праці та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

6.2.1 Утилізація виробничих відходів

Процес експлуатації металообробного обладнання неминує супроводжується утворенням відходів (відпрацьовані мастильно-охолоджувальні рідини, металева стружка, зношений абразивний інструмент). Система поводження з відходами включає:

Сортування та зберігання: Розподіл відходів за категоріями та їх накопичення у спеціалізованій тарі (герметичні контейнери для рідин, окремі бункери для металу) відповідно до екологічних норм.

Передача на утилізацію: Направлення відходів ліцензованим підприємствам для подальшої переробки (переплавлення стружки, регенерація мастил) з обов'язковим веденням звітної документації.

6.2.2 Безпека праці та ергономіка робочого місця верстатника

Для забезпечення безпеки операторів верстатів та зниження ризику травматизму реалізується комплекс технічних та організаційних заходів:

Застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): Обов'язкове використання захисних окулярів, навушників, спецодягу та спецвзуття відповідно до умов експлуатації обладнання.

Технічний захист: Оснащення рухомих елементів верстата захисними огороженнями та системами аварійного блокування.

Ергономіка простору: Раціональна організація робочої зони, що включає налаштування висоти обладнання, забезпечення нормативного освітлення та усунення відволікаючих факторів.

Інструктаж: Проведення регулярного навчання персоналу правилам безпеки та методам надання першої медичної допомоги.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2.3 Профілактика професійних захворювань

Специфіка механічної обробки металів вимагає превентивних заходів щодо захисту здоров'я персоналу:

Вібраційна хвороба: Запобігається шляхом використання антивібраційних рукавиць та дотримання регламентованих перерв.

Захворювання опорно-рухового апарату: Мінімізуються за рахунок застосування цехових підйомних механізмів та дотримання ергономічних вимог.

Захворювання органів дихання: Усуваються завдяки ефективним системам цехової вентиляції та застосуванню респіраторів, що захищають від пилу й масляного туману.

Порушення слуху: Нівелюються використанням засобів захисту органів слуху (навушники, беруші).

6.2.4 Екологічні аспекти та сталий розвиток

Зниження екологічного навантаження підприємства досягається шляхом:

Ресурсозбереження: Впровадження енергоефективного обладнання, оптимізація технологічних маршрутів та автоматизація систем змащування верстатів, що суттєво зменшує витрати мастильних матеріалів.

Екологічності матеріалів: Перехід на безпечні технології формоутворення.

Водокористування: Раціональне споживання водних ресурсів та обов'язкове очищення промислових стічних вод перед їх скиданням.

6.2.5 Висновок

Інтеграція системи управління охороною праці та екологією у виробничий процес є стратегічною інвестицією, що гарантує безпеку персоналу, забезпечує відповідність підприємства сучасним стандартам соціальної відповідальності та підвищує його загальну конкурентоспроможність.

					КНУ.КБР.131.26.2-01.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи було успішно вирішено комплексне інженерне завдання з розробки та оптимізації технологічного процесу виготовлення деталі - «Вал» важкого двоступінчастого горизонтального циліндричного редуктора РМ-1000 (габаритними розмірами $\varnothing 195 \times 907$ мм).

На початковому етапі проектування детально проаналізовано службове призначення вала та висунуті до нього технічні вимоги. Це стало базисом для розробки у другому розділі раціонального технологічного маршруту механічної обробки заготовки зі сталі 30ХМА. Для забезпечення стабільної якості, дотримання жорстких допусків та параметрів шорсткості, вибір обладнання було орієнтовано на сучасні високоточні верстати з числовим програмним керуванням ЧПК.

Третій розділ присвячено комплексному проектуванню інструментального налагодження. Підбір основного та допоміжного різального інструменту здійснено згідно з актуальними міжнародними стандартами ISO та жорстко адаптовано до розрахункових режимів різання з метою максимізації продуктивності.

У четвертому розділі виконано конструкторське проектування спеціального комбінованого інструменту – ступінчастого свердла-зенківки $\varnothing 14/\varnothing 25$ мм, призначеного для суміщення технологічних переходів свердління та формування фасок за один робочий хід. За допомогою модуля SolidWorks Simulation проведено скінченно-елементний аналіз напружено-деформованого стану інструменту, що підтвердило його високу просторову жорсткість та надійність експлуатації в умовах серійного виробництва.

П'ятий розділ охоплює етап автоматизованої підготовки керуючих програм САМ у середовищі FeatureCAM. Симуляція траєкторій різання та верифікація G-коду підтвердили безпомилковість алгоритмів формоутворення та гарантоване забезпечення заданої геометрії виробу.

У завершальному, шостому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень. Розрахунок технологічної собівартості довів економічну доцільність впровадження верстатів із ЧПК.

					<i>КНУ.КБР.131.26.2-01.B</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Багрий</i>			<i>Висновки</i>		
Перевір.		<i>Рязанцев</i>					
Реценз.							
Н. Контр.		<i>Нечаєв</i>					
Затверд.		<i>Рязанцев</i>					
					Літ.	Арк.	Акрушів
					<i>Кафедра ТМ, гр. ПМ-23ск</i>		

Крім того, розроблено необхідні заходи з охорони праці, ергономіки робочих місць та визначено дієві шляхи утилізації відходів для мінімізації екологічного навантаження. Таким чином, у проєкті реалізовано сучасний системний підхід до підготовки виробництва, який органічно поєднує інженерні, економічні та екологічні аспекти. Запропоновані рішення гарантують випуск конкурентоспроможної продукції з високими показниками надійності та ефективності.

					<i>КНУ.КБР.131.26.2-01.В</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нефьодов Н.А., Осипов К.А. Збірник задач і прикладів по різанню металів і ріжучому інструменту: Навчальний посібник - М.: Машинобудування, 1990. - 448с
2. Каталог загальний Mitsubishi C005R 2012 року.
3. Каталог абразивного інструменту Tyrolit 2024 року.
4. Каталог фрезерування SECO 2020 року.
5. Каталог SECO GB-Threading-SN20261 2026 року.
6. Каталог SECO Holemaking-20201 2020 року.
7. Каталог SECO Turning-SN20201 2020 року.
8. Каталог SECO оснастка и вспомогательный инструмент 2020 року.
9. [https://ecat.wto-tools.com/web/wto/en_EN/all/all/410504436-40/\\$catalogue/WTODData/PR/410504436-40/public/index.xhtml](https://ecat.wto-tools.com/web/wto/en_EN/all/all/410504436-40/$catalogue/WTODData/PR/410504436-40/public/index.xhtml)
10. <https://www.sandvik.coromant.com/en-us>
11. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної випускної роботи бакалавра для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми Прикладна механіка усіх форм навчання. Укладачі: Кіяновський М.В., Нечаєв В.П., Пікільняк А.В., Цивінда Н.І., Бондар О.В., Рязанцев А.О., Кравцова Д.Ю. 2022. Кривий Ріг, КНУ.
12. Технологія машинобудування Горбатюк Е.О. Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Навчальний посібник. Львів., Новий світ-2008,-360 с.
13. Довідник технолога-машинобудівника. /Під ред. Косиловій А.Г. та Мещерякова Р.К. – М.: Машинобудівництва, - Т.1, Т.2. 2003.
14. Обробка металів різання: Довідник технолога. / Під ред. Панова А.А. - М. Машинобудівництво 2005р. - 736с.
15. Керівництво по експлуатації FANUC Series Oi-MODEL D

					КНУ.КБР.131.26.2-01.СВД					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Список використаних джерел			Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Багрий								
Перевір.		Рязанцев								
Реценз.								Кафедра ТМ, гр. ПМ-23ск		
Н. Контр.		Нечаєв								
Затверд.		Рязанцев								

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

**АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

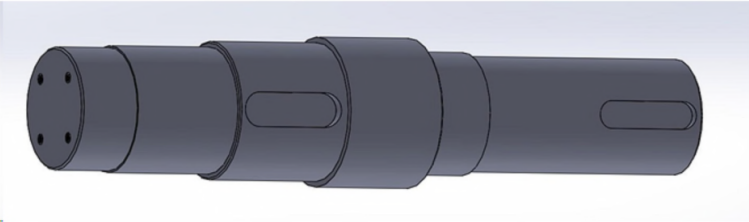
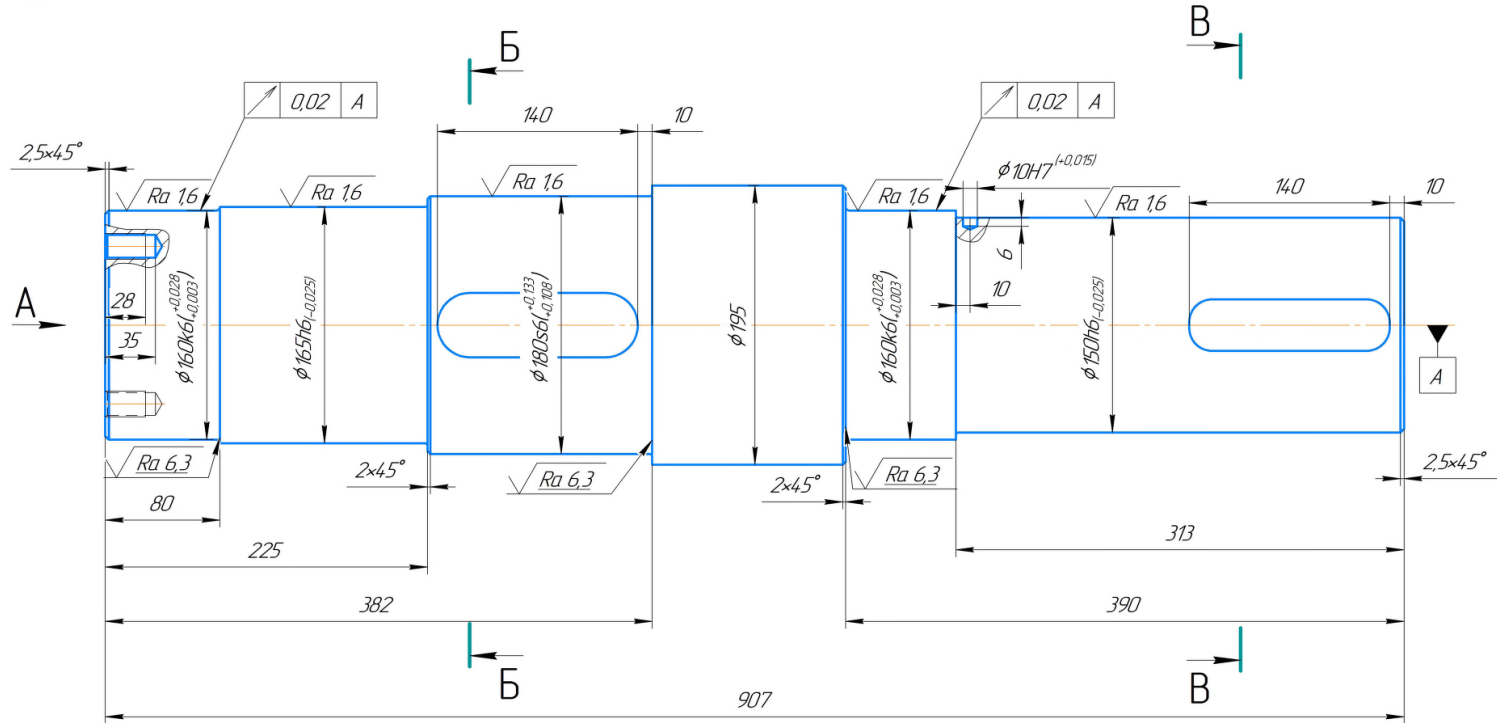
зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення
деталі «Вал» та обґрунтування параметрів різального
інструменту з використанням САПР-технологій

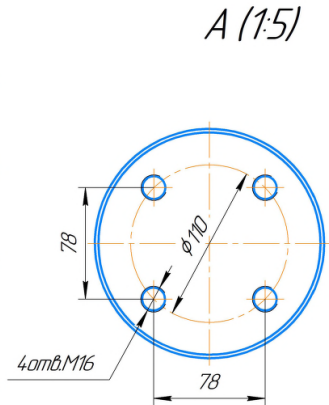
Виконав здобувач гр. ПМ-23ск	_____	Ярослав БАГРІЙ
	(підпис)	
Керівник КБР	_____	Антон РЯЗАНЦЕВ
	(підпис)	
Нормоконтроль	_____	Василь НЕЧАЄВ
	(підпис)	
Завідувач кафедри	_____	Антон РЯЗАНЦЕВ
	(підпис)	

Кривий Ріг
2026 р.

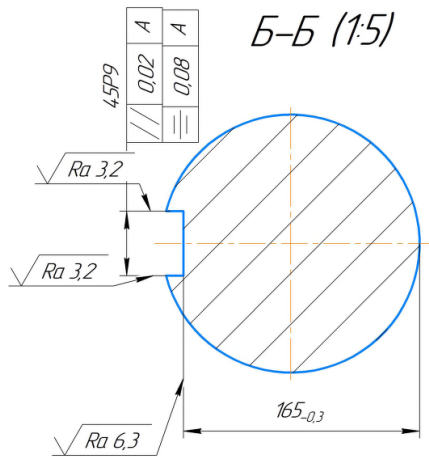
Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание																
					Креслення																		
Справ. №	A2	1	КНУ.КБР.131.26.2-1В	Вал	1																		
	A1	2	КНУ.КБР.131.26.2-1ВН	Верстатно-інструментальне налагодження	1																		
	A2	3	КНУ.КБР.131.26.2-1КС	Комбіноване свердло	1																		
	A2	4	КНУ.КБР.131.26.2-1АСРІ	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	1																		
	A2	5	КНУ.КБР.131.26.2-1МПМО	Моделювання процесу механічної обробки	1																		
Подп. и дата	Подп. и дата	Инд. № дубл.	Взам. инд. №	Подп. и дата	Инд. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КНУ.КБР.131.26.2-01.ВЕД	Лит.	Лист	Листов									
															Разраб.	Багрії			Відомість електроних документів КБР	Н		1	
															Пров.	Рязанцев							
															Н.контр.	Нечаєв							Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск
															Утв.	Рязанцев							



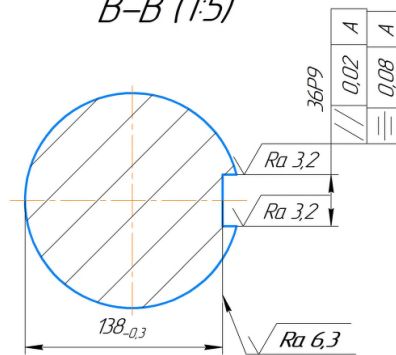
A (1:5)



Б-Б (1:5)



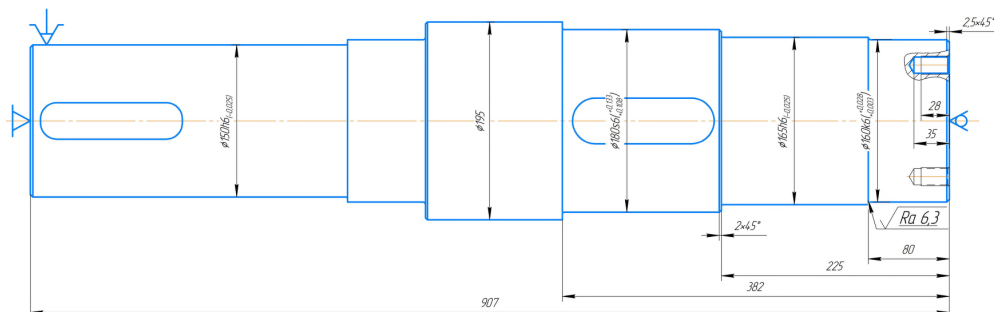
Б-Б (1:5)



- Невказані граничні відхилення розмірів $h14, H14, \pm IT14/2$
- Можлива заміна на сталь 40ХН2МА ДСТУ 7806:2015
- Паковка гр.!!! К17540 ДСТУ EN 10250-3:2022
- Припуски та допуски за ДСТУ 9182:2022

					КНУ.КБР.131.26.2-01В					
					Вал			Лист	Масса	Масштаб
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Н					154кг.	12,5
Разработ.	Богарий									
Проект.	Разванцев				Лист			Листов 1		
Технический					Сталь 30ХМА ДСТУ 7806:2015			Кафедра ТМ		
Начальник	Нечасов							гр. ПМ-23ск		
Утвердил	Разванцев							Формат А2		
					Копирован					

Масштаб деталі 1:2,5



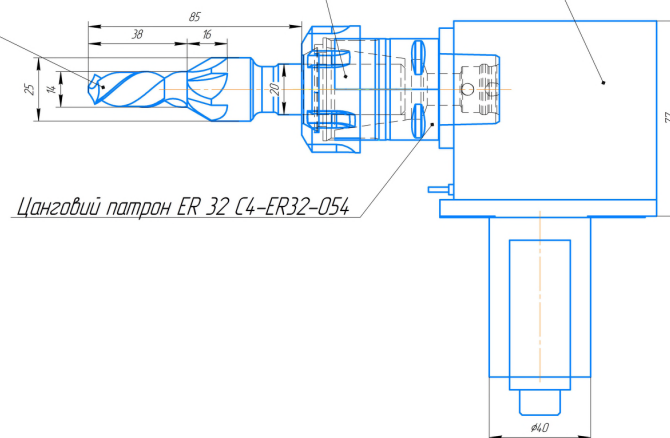
Різець DCLNL2525M12-T
Пластина CNMG120408-RP
Пластина CNMG120404-MP
Пластина CNMG120404-LP

Різцетримач ASHN-VDI40-25-JETI

Радіальний приводний інструментальний блок 410504436-40

Свердло-зенківка ступінчата спеціальна 14/ 25 120° (40CrMnMo7)

Цанга ER 58803218

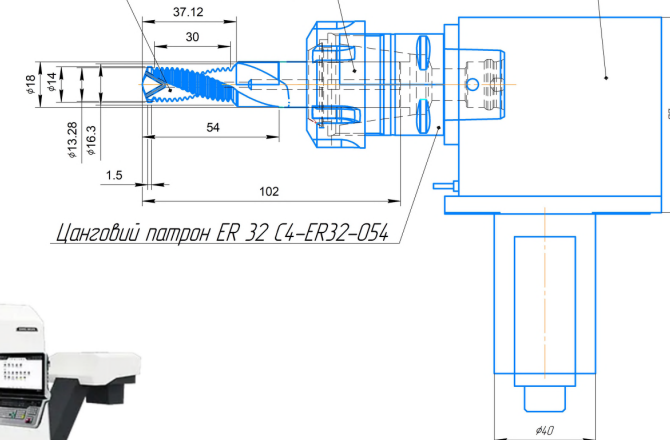


Цанговий патрон ER 32 C4-ER32-054

Радіальний приводний інструментальний блок 410504436-40

Різьдофреза DTM-M16X2.0ISO-18R1

Цанга ER 58803220



Цанзовий патрон ER 32 C4-ER32-054



Верстат моделі СТХ 750

Інструмент	Пластина	Матеріал пластины	Допоміжний інструмент
Різець для контурного точіння DCLNL2525M12-T	CNM6120408-RP 	UE6020	ASHN-VDI40-25-JET1
Різець для контурного точіння DCLNL2525M12-T	CNM6120404-MP 	MC6025	ASHN-VDI40-25-JET1
Різець для контурного точіння DCLNL2525M12-T	CNM6120404-LP 	MC6025	ASHN-VDI40-25-JET1
Свердло-зенківка ступінчаста спеціальна $\phi 14 / \phi 25$ 120° (40CrMnMo7)	-	AlTiN-based	Цанговий патрон ER 32 C4-ER32-054 цанга ER 32 ER 58803220
Різальний диск DTM-M16X2.0ISO-18R1	-	AlTiN-based	Цанговий патрон ER 32 C4-ER32-054 цанга ER 32 ER 58803218

				КНУ.КБР.13126.2-01ВН			
				Верстально-инструментальные наладочные			
Лист		№ докум.		Подп.		Машт.	
Листов		Всего		Листов		11	
Исполн.		Начисл.		Листов		1	
Зав.		Разраб.		Листов		1	
				Коп. ТМ гр. ПМ-23к Фотопл. 31			
				Копировал			

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

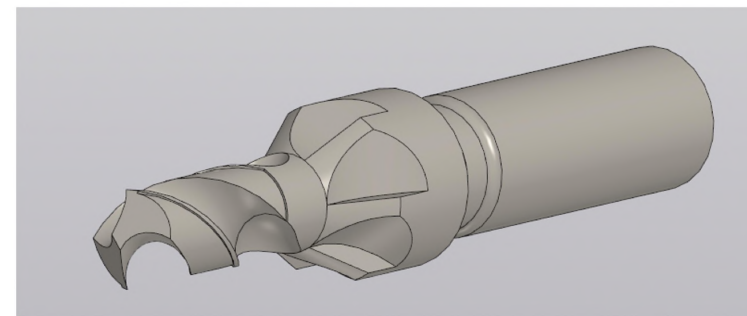
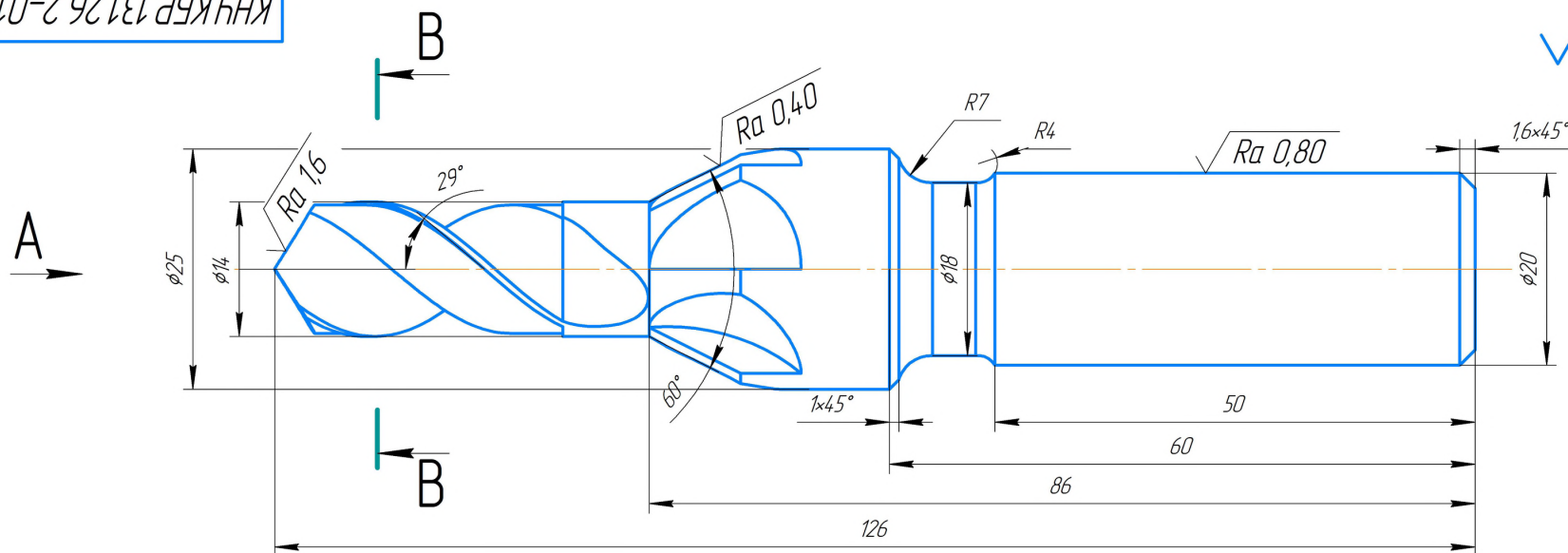
Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

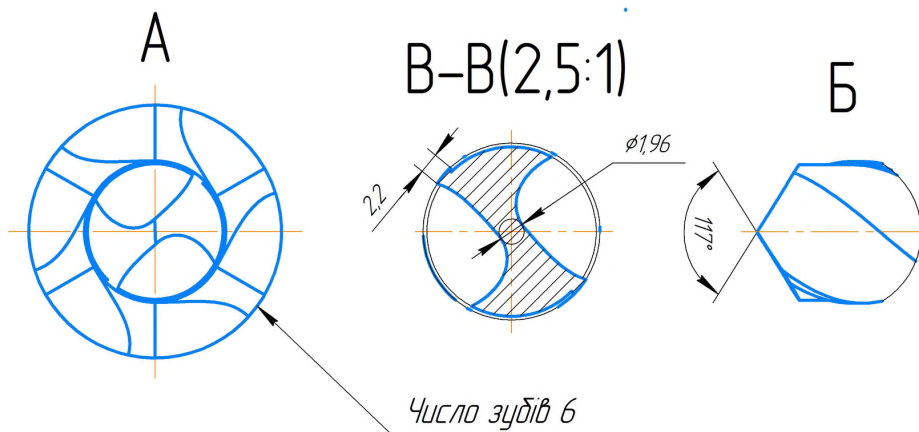
Инв. № подл.

КНУ.КБР.131.26.2-01.КС

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

1 Матеріал ріжучих частин 40CrMnMo7 DIN 2208, інші частини – сталь 40X DIN EN 10083

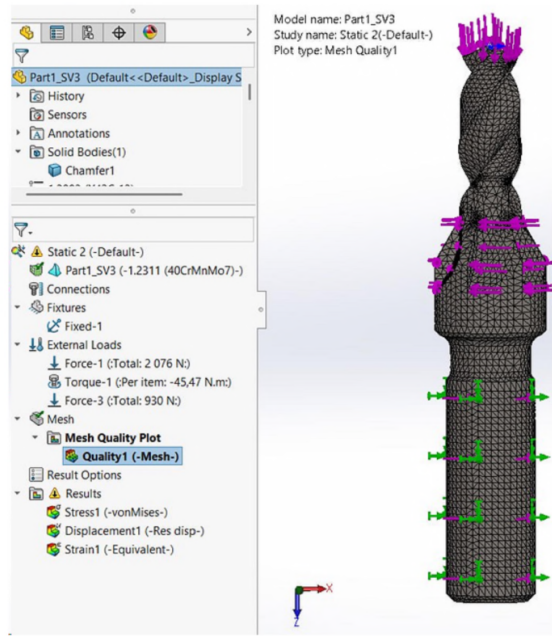
2 Невказані граничні відхилення H14, h14 $\pm \frac{IT14}{2}$



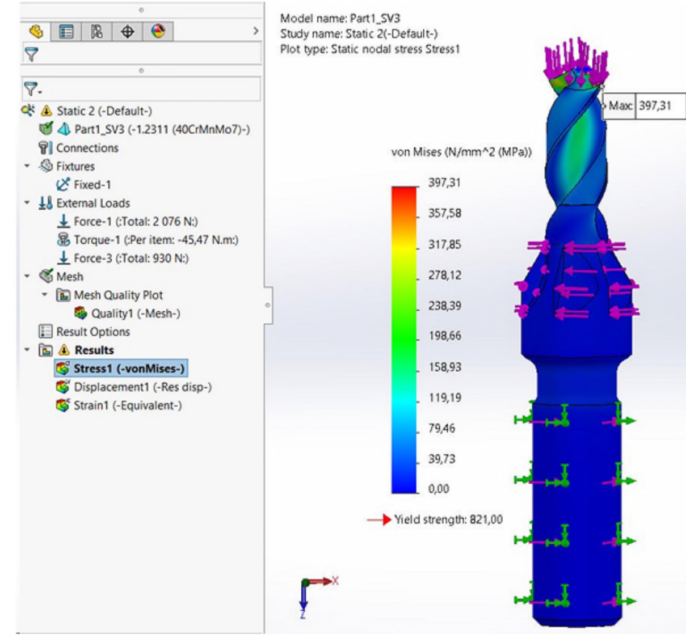
КНУ.КБР.131.26.2-01.КС				Лист	Масса	Масштаб
Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Комбіноване свердло	0,42	2:1
Разраб.	Багрий					
Пров.	Рязанцев			Див. технічні вимоги	Лист	Листов 1
Т.контр.						
Н.контр.	Нечаєв			Див. технічні вимоги	Каф. ТМ гр. ПМ-23ск	Формат А3
Утв.	Рязанцев					

Копіював

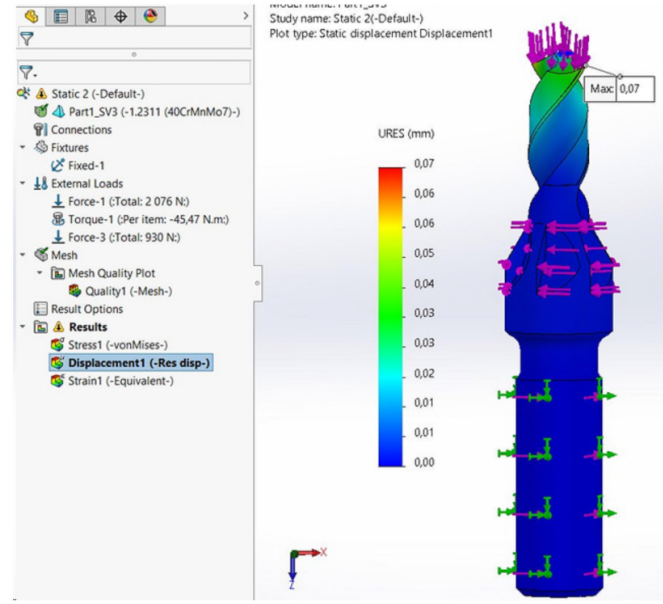
Формат А3



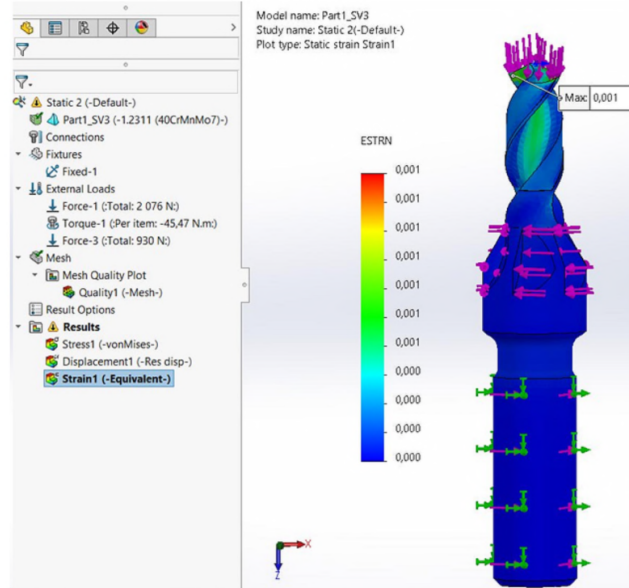
3D модель з сіткою кінцевих елементів



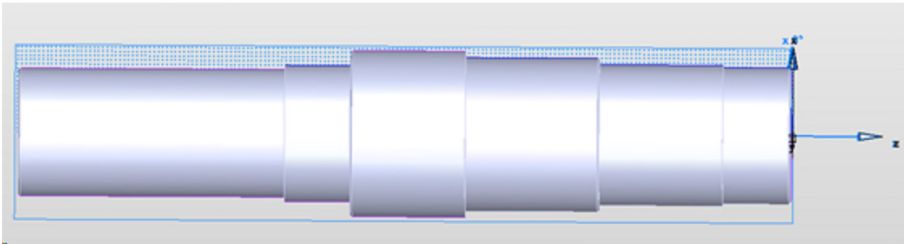
Дослідження напруження



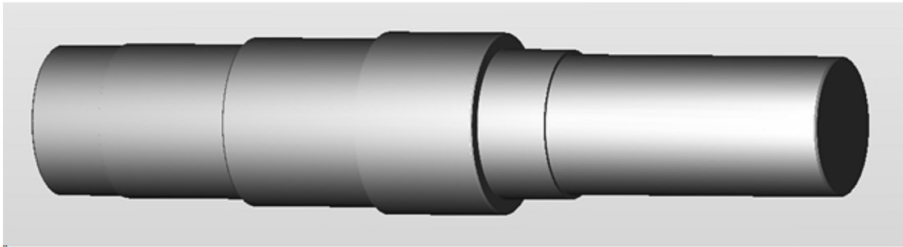
Дослідження переміщення



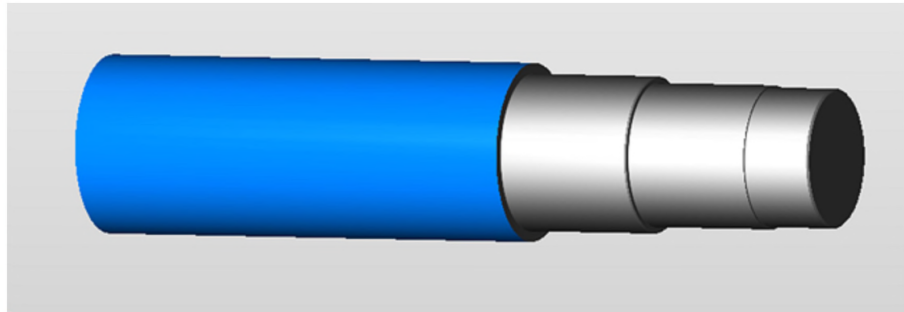
Дослідження деформації



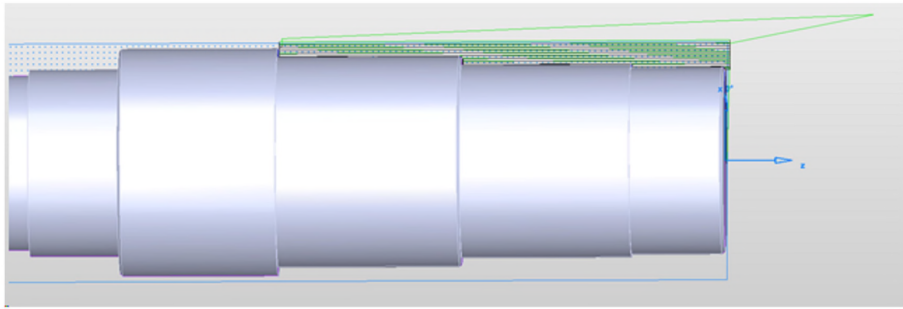
Імпорт деталі у Autodesk FeatureCAM



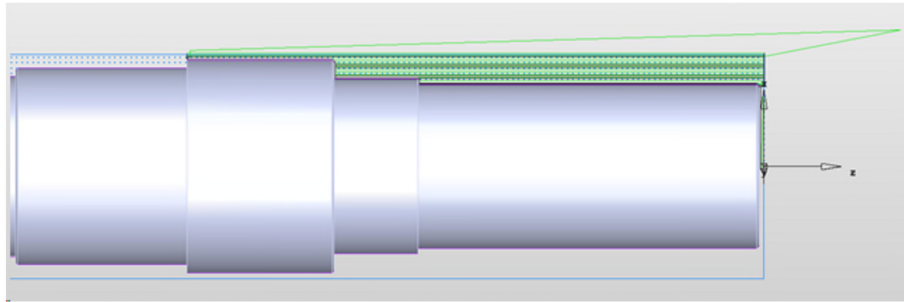
Результат обробки другого установа



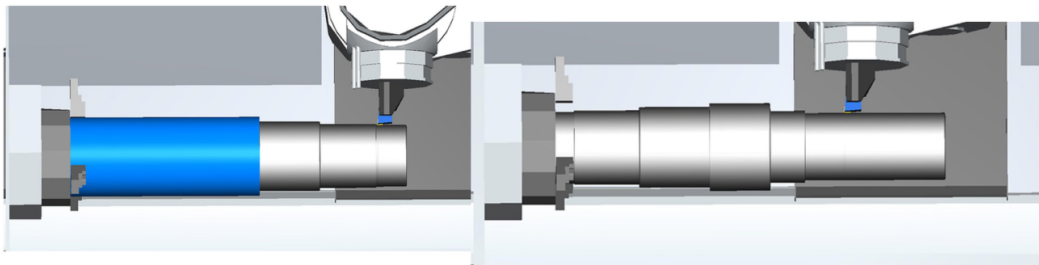
Результат симуляції обробки першого установа



Траєкторії переміщень інструментів на другому установі



Траєкторії переміщень інструментів на першому установі



Симуляція обробки на верстаті

Перш. примірник	
Старий №	
Підп. і дата	
Взам. инв. №	
Инд. № подл.	

КНУ.КБР.131.26.2-01МПРО				Лист	Масса	Масштаб
Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Моделирование процессоризальной механической обработки		
Разраб.	Багрий			Лист	Листов	1:1
Проб.	Рязанцев			Каф. ТМ		
Т.контр.				гр. ПМ-23ск		
Н.контр.	Нечасов			Формат А2		
Утв.	Рязанцев			Копировал		