

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
Механіко-машинобудівний факультет
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Тесленко Валентин Сергійович
академічної групи 131М-20Н-1 ММФ
спеціальності 131 Прикладна механіка
за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»

на тему: «Аналіз альтернативних варіантів обробки деталі Вал за умови використання спеціальних САМ-систем»

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Кваліфікаційної роботи	Пацера С.Т.			
розділів:				
Аналітичний	Пацера С.Т.			
Технологічний	Пацера С.Т.			
Спеціальний	Пацера С.Т.			
Науково- дослідницький	Пацера С.Т.			

Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, національної безпеки і оборони України, зокрема відомості про їх місце розташування, службове призначення, конструкторську і технологічну документацію, описи конструкторських матеріалів та їх властивості, іншу додаткову літературу та посилання. У зв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

Дніпро - 2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

технологій машинобудування та матеріалознавства

В.В. Проців

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« » _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ступеню магістра

студенту Тесленко Валентину Сергійовичу

академічної групи 131М-20Н-1 ММФ

спеціальності 131 Прикладна механіка

**за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»**

**на тему: «Аналіз альтернативних варіантів обробки деталі Вал за умови
використання спеціальних САМ-систем»**

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від
_____ за № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналітичний	Аналіз і характеристики матеріалу, умови експлуатації та оцінка технологічності деталі «Вал»	31.01.2022- 06.03.2022
Технологічний	Проектування та опрацювання детальної технології механічної обробки. Розробка комплекту документації	07.03.2022- 03.04.2022
Спеціальний	Використовувані обладнання базування та контролю розмірів деталі на верстаті з ЧПК	04.04.2022- 01.05.2022
Науково-дослідницький	Дослідження і розробка методики оптимізованої технології обробки деталі на верстаті з ЧПК	02.05.2022- 12.06.2022

Завдання видано _____

Пацера С.Т.

Дата видачі 20 грудня 2021 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії 13 червня 2022 р.

Прийнято до виконання _____

В.С. Тесленко

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: ___ с, ___ рис, ___ табл., ___ додаток, ___ джерела.

Тема: «Аналіз альтернативних варіантів обробки деталі Вал за умови використання спеціальних САМ-систем».

ТЕХНОЛОГІЯ, ДЕТАЛЬ, ЛЕГОВАНА СТАЛЬ, ОПЕРАЦІЯ, ФОРМОУТВОРЕННЯ, ОБЛАДНАННЯ З ЧПК, САД, САМ.

Поєднання токарно-фрезерних робіт на верстатах з ЧПК набуло значного поширення в сучасному машинобудуванні. Тому визначення оптимальної технології та траєкторій руху керованих агрегатів має актуальне значення при металообробці.

Також актуальною є проблема застосування інженерних розрахунків на деталі, в спеціалізованих програмах, при складанні технології виготовлення виробу.

Об'єкт дослідження (розробки) у кваліфікаційній роботі – процеси формоутворення поверхонь у деталі з класу силових передач.

Предмет дослідження – стратегії (траєкторії) програмного формоутворення поверхонь на обладнанні з ЧПК.

Метою кваліфікаційної роботи є порівняння основного та машинного часу формоутворення при різних траєкторіях інструменту.

Методика досліджень – комп'ютерне моделювання операцій формоутворення на основі САМ-програми.

Результат роботи – експериментальні дані щодо основного часу обробки поверхонь за різними стратегіями формоутворення. Визначена оптимальна стратегія формоутворення за умови врахування закладених при моделюванні початкових даних.

Наукова новизна кваліфікаційної роботи – залежності основного часу обробки від стратегії формоутворення.

Практична цінність – рекомендації щодо застосування альтернативних технологічних методів виготовлення деталей силових передач.

Робота пов'язана з науковим напрямом кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства та виконана відповідно договору про співпрацю та договором про нерозголошення конфіденційної інформації та комерційної таємниці з ТОВ «ДТМ-ІНЖИНІРИНГ».

ЗМІСТ

	Вступ.....	
1	Аналітичний розділ	
	1.1 Характеристика об'єкта виробництва	
	1.2 Оцінка технологічності деталі	
2	Технологічний розділ	
	2.1 Визначення типу виробництва і форма його організації	
	2.2 Вибір і обґрунтування способу отримання заготовки	
	2.3 Вибір технологічних баз деталі Вал	
	2.4 Розробка маршруту обробки деталей	
	2.5 Визначення припусків на обробку та розмірів заготовки	
	2.6 Вибір технологічного обладнання	
	2.7 Визначення режимів різання	
	2.8 Вибір різального інструменту за системою ISO 9001	
3	Спеціальний розділ.....	
	3.1 Проектування верстатного пристосування	
	3.2 Розрахунок точності верстатного пристосування	
	3.3 Розрахунок сили закріплення деталі	
4	Науково-дослідницький розділ.....	
	4.1 Автоматизований процес виготовлення деталі Вал	
	4.2 Створення моделі і симуляція обробки деталі	
	4.3 Вибір стратегій обробки і устаткування	
	4.4 Генерування керуючої програми для верстата з ЧПК	
	4.5 Оптимізація процесу обробки матеріалів	
	Загальні висновки	
	Література	
	Специфікація. Пристосування спеціальне	
	Додаток А. Технологічний процес обробки деталі Вал	

ВСТУП

При проектуванні технологічних процесів механічної обробки в сучасних умовах на перше місце виступають питання оптимізації багатьох, часто суперечливих факторів. Обсяг виробництва виробів повинен строго відповідати потребам ринку. Робота «на склад» руйнівна, тому структура технологічного процесу в цілому і кожної операції окремо, а також організація виробництва, повинні забезпечувати оптимальну продуктивність високу гнучкість виробництва.

Виходячи з цього, при проектуванні нових цехів необхідно забезпечити оптимальне співвідношення наявних універсальних верстатів напівавтоматів і верстатів з ЧПУ, що оснащуються переналагоджуваної оснащенням. Економічно обґрунтоване завантаження устаткування повинна забезпечуватися відповідною організацією виробничого процесу в цеху, заснованої на прогнозуванні та оперативному управлінні з використанням обчислювальної техніки, що дозволяє скоротити час на технологічну підготовку і простої верстатів у налагодженні.

В даний час зберігається тенденція, коли в ціні виробу значна частина становить вартість матеріалу та енергії. Однак, зниження частки механічної обробки, дозволяє відчутно знизити технологічну собівартість виробів, якщо використовувати заготовки з високим ступенем готовності та обладнання з широкими технологічними можливостями.

Значний ефект можливий від використання сучасного універсального інструменту і інструментальних матеріалів, що забезпечують високу швидкість різання і стійкість, що скорочує машинний час на обробку і час простою верстата в налагодженні.

Такий підхід до проблеми технологічного проектування лежить в основі даного дипломного проекту. Використана мінімальна кількість вітчизняного металорізального обладнання та організаційна структура, що дозволяє організувати виробництво типових деталей дрібними партіями з високою продуктивністю і ступенем універсальності. Доведено економічну доцільність застосування заготовок високого ступеня готовності, що дозволило вивести заготівельне виробництво за межі виробничого процесу.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Характеристика об'єкта виробництва

1.1.1. Аналіз матеріалу і технологічності деталі

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

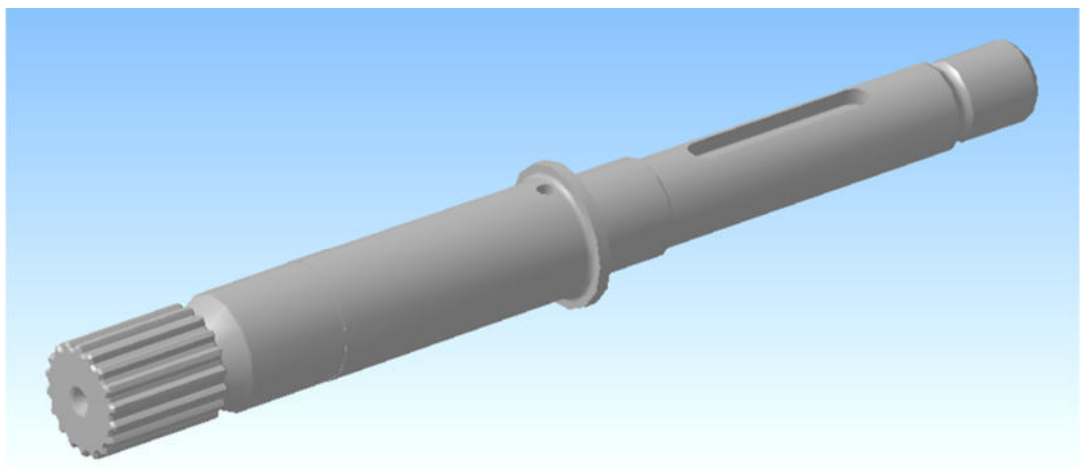


Рис.1.1 3D-модель деталі «Вал»

Таблиця 1.1 Хімічні властивості сталі 38ХА

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

*Прутки 2 / к, ковани і калібровані. Загартування в масло з 845-875 ° С +
Відпустка, охолодження у воді або маслі*

285_

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

Механічні властивості з конструкційної високоякісної сталі 38ХА

Стан поставки	Перетин (мм)	σ_B , МПа	Ψ (%)	НВ
---------------	--------------	------------------	------------	----

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

° С					
-20	≥900	≥1040	≥18	≥58	
-40	≥930	≥1100	≥18	≥55	
-70	≥1000	≥1120	≥18	≥55	
Пруток діаметром 28-55 мм. Загартування в масло з 830 ° С + Відпустка при 680 ° С (витримка 3 ч)					
20	≥570	≥700			207-217
400	≥430	≥590			
500	≥360	≥420			
600	≥210	≥245			
Пруток діаметром 28-55 мм. Загартування в масло з 850 ° С + Відпустка при 550 ° С (витримка 3 ч)					
20	≥790	≥940	≥13	≥55	285-302
300	≥680	≥880	≥17	≥58	
400	≥610	≥690	≥18	≥68	
500	≥430	≥490	≥21	≥80	

Межа витривалості високоякісної хромової конструкційної сталі 38ХА

Термообробка, стан сталі	σ -1, МПа	σ В, МПа	σ 0,2, МПа
Загартування + відпустку	333	690	
НВ 241	392	980	830

1.1.2 Оцінка технологічності деталі

Вал - деталь машини, призначена для передачі крутного моменту і сприйняття діючих сил з боку розташованих на ньому деталей і опор. Маса деталі 0,306 кг.

Показники якісної оцінки технологічності деталі Вал наведені в таблиці 1.3

Таблиця 1.3. Результати аналізу технологічності конструкції деталі Вал.

Показники технологічності конструкції деталі	Оцінка технологічності	
	Добре (допустимо)	Погано (недопустимо)
Наявність в деталі стандартних і уніфікованих елементів.	+	-
Можливість виготовлення деталі зі стандартних і уніфікованих заготовок.	+	-
Наявність оптимальної точності і шорсткості поверхні сталі.	+	-
Відповідність фізико-хімічних і механічних властивостей матеріалу, жорсткості форми і розмірів деталі вимога технології механічної і термічної обробки.	+	-
Відповідність показників базових поверхонь деталі (розміри, точність, шорсткість) вимогам установці обробки і контролю.	+	-
Відповідність оформлення робочого креслення деталі вимога КД і ЕСДП РЕВ.	+	-

Вимоги до робочих поверхонь деталі не є завищеними і відповідають їхньому службовому призначенням. Застосований матеріал забезпечує виконання вимог до механічних властивостей поверхонь і деталі в цілому і має гарні технологічними характеристиками як при обробці тиском, так і різанням.

В цілому, технологічність конструкції деталі Вал після якісного аналізу можна оцінити як гарну за основними показниками.

Крім якісних показників є ще й кількісні. Необхідно визначити показники технологічності конструкції вала.

Дані конструктивного аналізу деталі по поверхнях представлені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4. Конструктивний аналіз деталі

--	--	--	--	--

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

Ев18х1х18	1	-	1 1	2,2
Фаска 1 × 45 про	7	7	14	5
Фаска 0,5 × 45 про	2	2	14	5
Ітого:	Q _з = 22	Q _у = 19	-	-

Визначимо коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів:

$$K_{yc} = \frac{Q_y}{Q_z} \quad (1.1)$$

де Q_y – кількість уніфікований елементів;

Q_z - загальна кількість поверхонь.

$$K_{yc} = \frac{19}{22} = 0,86$$

Так як $K_{ус} > 0,6$, можна зробити висновок, що деталь технологічна.
Визначимо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{и.м.} = \frac{M_d}{M_з} \quad (1.2)$$

$$K_{и.м.} = \frac{0,306}{0,780} = 0,41$$

Для вихідної заготовки цього типу такий показник свідчить про задовільний використанні матеріалу.

Аналізуючи вимоги робочого креслення, робимо висновок, що матеріал деталі дозволяє забезпечити необхідні механічні властивості, шорсткість необроблювальних поверхонь та конструктивні особливості деталі.

Для контролю або вимірювання розмірів оброблюваних поверхонь і їх взаємного розташування не потрібні спеціальні інструменти або пристосування.

Таким чином, технологічність конструкції деталі «Вал» після якісного і кількісного аналізу можна оцінити як гарну за всіма показниками.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Визначення типу виробництва і форми його організації

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

техніко-економічними розрахунками.

В якості вихідних заготовок застосовують гарячекатаний та холодноотягнутий прокат, лиття в землю і під тиском, точне лиття, поковки, штампування. Необхідна точність досягається як методом автоматичного отримання розмірами, так і методом пробних ходів і промірів з частковим застосуванням розмітки.

Середня кваліфікація робітників - 3-5 розряд. Поряд з робітниками високої кваліфікації, які працюють на складних верстатах і наладчиків,

використовуються робочі оператори, що працюють на настроєних верстатах.

Виробнича програма випуску деталей встановлюється в залежності від річної потреби виробів і організаційно-технічних умов виробництва та збирання. За завданням приймається серійний тип виробництва. Вважаючи, що річна потреба у виробах з 50000 штук.

Розмір партії деталей, одночасно що запускаються у виробництво, визначаємо за формулою:

$$N_c = \frac{Na}{\Phi} \quad \text{шт;} \quad (2.1)$$

де N – річна програма випуску деталей, шт;

Φ - дійсний річний фонд часу роботи в годинах;

a – періодичність запуску деталей у виробництво або число днів, на яке необхідно забезпечити роботу складального цеху, $a=3,6,12,24$ дня.

Визначимо розмір партії для деталі вал:

$$N_c = \frac{25000*6}{254} = 590,55 \approx 591 \quad \text{шт.}$$

Для деталі корпус:

$$N_c = \frac{25000*6}{254} = 590,55 \approx 591 \quad \text{шт.}$$

Такт випуску деталей у виробництво визначається за формулою:

$$T_b = \frac{60F_g m}{N}, \text{ мин} \quad (2.2)$$

де F_g – річний дійсний фонд роботи верстата, год; при роботі в одну зміну
 $F_d \cdot m = 2030$ ч;

m – число змін роботи верстата на добу;

N – річна програма випуску деталей, шт.

Визначимо такт випуску для деталі вал:

$$T_b = \frac{60F_g m}{N} = \frac{60*2030}{25000} = 4,87 \quad \text{мин}$$

Для деталі корпус:

$$T_b = \frac{60F_g m}{N} = \frac{60*2030}{25000} = 4,87 \quad \text{хв}$$

Визначимо середнє основне технологічне час для декількох операцій обробки деталі вал:

$$T_{o.c.p.} = 0,17 * 10^{-3} * 19 * 33 = 0,11 \text{ хв}$$

$$T_{o.c.p.} = 0,17 * 10^{-3} * 20 * 17 = 0,058 \text{ хв}$$

$$T_{o.c.p.} = 0,17 * 10^{-3} * 26 * 2,5 = 0,011 \text{ хв}$$

$$T_{o.c.p.} = 0,17 * 10^{-3} * 20 * 23,5 = 0,08 \text{ хв}$$

$$T_{o.c.p.} = 0,17 * 10^{-3} * 19,5 * 21 = 0,07 \text{ хв}$$

Загальний час на токарні операції: $T_{o.c.p.} = 0,46 \text{ хв}$

Фрезування:

$$T_{o.c.p.} = 6 * 10^{-3} * l * n, \text{ хв} \quad (2.6)$$

$$T_{o.c.p.} = 6 * 10^{-3} * 20,5 * 2,5 = 0,31 \text{ хв}$$

Визначимо середнє поштучна час за операціями:

Підрізання торців:

$$T_{шт.ср} = \frac{0,03}{0,5} = 0,06 \text{ хв}$$

Точіння:

$$0,46$$

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

2.2. Вибір і обґрунтування способу отримання заготовок

Для раціонального вибору заготовки необхідно одночасно враховувати

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

базування залежить точність обробки.

При виборі баз необхідно керуватися такими міркуваннями: деталь повинна зручно встановлюватися на верстаті, базові поверхні повинні мати достатню довжину для забезпечення стійкого положення деталі при обробці, деталь повинна піддаватися найменшим деформаціям під дією сил різання, затиску і власної ваги, і т.д.

Відповідно до правил вибору баз, для обробки деталі вал на операціях в якості бази приймаємо зовнішню поверхню і торець заготовки.

2.4. Розробка маршруту обробки деталей

При розробці маршруту виготовлення деталі орієнтуємося на вигляд застосовуваної заготовки та її точність. Кількість технологічних операцій, їх

концентрація буде визначатися методами обробки поверхонь, які призначені виходячи з необхідного квалітету, розміру і параметра шорсткості.

Перелік оброблюваних поверхонь і методи обробки деталі вал наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Технологічний маршрут обробки валу

№ з/п	Зміст операції	Технологічна оснастка.	Технологічне обладнання
005	Заготівельна	-	-

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

	канавки, шліфувати різьблення.		
050	Полірування. Полірувати поверхню Ø20.	Патрон трикулачковий самоцентруючийся	Станок моделі 6ШП-100М
055	Слюсарна	Промити деталь, видалити задирки.	-
060	Контрольна	Технічний контроль ВТК.	-

2.5. Визначення припусків на обробку та розмірів заготовки валу

Так як в якості заготовки був обраний прокат, то можна розрахувати довжину прутка з урахуванням припусків, а також діаметр. Розраховані дані наведемо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. Припуски на заготовку валу

Розмір, мм	Шорсткість, Ra	Припуск 2 Z ₀ , мм	Допуск, мм
Довжина 162	10	162+1,6=163,6	163,6 _{-0,4}
Ø 26	5	26+2=28	28 ₋₁

2.6. Вибір технологічного обладнання для деталі вал

Для фрезерно-центрувальної (010) і фрезерної (025) операції вибираємо

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

шпинделя (найменше - найбільше), мм	
Відстані від торця горизонтального шпинделя до кутового горизонтального столу (найменше - найбільше), мм	80 – 460

Відстані від торця вертикального шпинделя до кутового горизонтального столу (найменше - найбільше), мм	0 – 380
Кількість швидкостей шпинделів (горизонтальний, вертикальний)	16, 16
Межі чисел оборотів шпинделів в хв .:	50/1630 63/2040
горизонтального	70
вертикального	16,16
Найбільше осьове переміщення пінолі шпинделя, мм	13/395, 13/395
Кількість подач столу (поздовжніх, вертикальних)	0,935
Межі подач столу (поздовжніх, вертикальних), мм / хв:	16
Прискорений хід столу (поздовжній і вертикальний), м / хв.	13/395
Кількість подач шпиндельної бабки	0,935
Робоча поверхня стола, мм:	630x250 800x250 630x200 250, 110
Основний	400 380
кутовий горизонтальний	3 14 50
кутовий універсальний	16,8
Круглий (діаметр поверхні, висота)	250
Найбільший хід основного столу, мм:	60
поздовжній	2,2
вертикальний	1285x1215x1780
T-образні пази:	910

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

Число швидкостей шпинделя	24
Частота обертання шпинделя в хв.	7,1; 82,9; 158,7; 234,5; 310,3; 386,1; 461,9; 537,7; 613,5; 689,3; 765,1; 840,9; 916,7; 992,5; 1068,3; 1144,1; 1219,9; 1295,7; 1371,5; 1447,3; 1523,1; 1598,9; 1674,7; 1750
Кількість поздовжніх і поперечних подач супорта	32
Поздовжня подача супорта, мм / об	0,2-3,05
Поперечна подача супорта, мм / об	0,07-1,04
Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт	17
Маса верстата, кг	11700

Для виконання зубодовбальної операції (030) деталі вибираємо довбальний верстат з механічним приводом 7А412.

Верстати моделі 7А412 призначені для зовнішнього та внутрішнього довбання плоских і фасонних поверхонь, вирізів і канавок, а також для довбання з піднутрінням до 10 град для інструментальних і ремонтних служб.

Технічні характеристики верстата наведені в таблиці:

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

	150
в поперечному напрямку	52-210
поздовжніх	0,1-1,0
поперечних	0,1-1,0
кругових, град	0,07-0,67
Найбільше зусилля різання, кг	600
Потужність електродвигуна приводу головного руху в кВт	0,8-1,5
Габаритні розміри:	
довжина	1950
ширина	980
висота	1825
Вага в кг	1100

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

найменший	20
Діаметр виробу, шліфується у відкритому люнеті, мм:	
найбільший	60
найменший	8
Найбільша довжина шліфування, мм:	
зовнішнього	1250
внутрішнього	100
Найбільше поздовжнє переміщення столу, мм:	1290
Швидкість гідравлічного переміщення стола з безступінчастим регулюванням, мм / хв:	
найбільша	6000
найменша	100

Найбільший кут повороту верхнього столу, град	
За годинниковою стрілкою	-2
Проти годинникової стрілки	7
Діаметр шліфувального круга	
найбільший	350
найменший	260
Число оборотів шпинделя шліфувальної бабки в хв.	1880/2110
Електродвигун приводу шліфувального круга:	
Число обертів в хв.	1450
Потужність, кВт	4
Габарити верстата	4990X2000X1650
вага, кг	4600

Для виконання полірувальної операції вибираємо верстат шліфувально - полірувальний 6ШП-100М. Верстат призначений для шліфування та полірування вільним абразивом плоских і сферичних поверхонь заготовок оптичних деталей або блоків методом притирання із застосуванням вільного абразиву.

Технічні характеристики верстата наведені в таблиці:

Таблиця 2.8. Технічні характеристики верстата 6ШП-100М

Діаметр оброблюваних заготовок або блоків, мм	50-100
Кількість шпинделів, шт	6
Частота обертання шпинделів, об / хв	90; 180;360
Частота коливання повідків, дв.хід / хв	40; 63; 100
Довжина штриха, мм	0-130

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.



Токарний напівавтоматичний револьверний верстат типу SPR призначений для обробки деталей типу тіл обертання зі сталі, чавуну і кольорових металів для дрібносерійного і серійного виробництва. Верстат обробляє деталі типу «фланець», що складається з окремих елементів і прут з максимальним діаметром 63 мм і 100 мм. Можлива обробка зовнішньої і внутрішньої поверхонь циліндричних, конічних і сферичних форм деталей. А також свердління, зенкування і нарізування різьблення.

Технічні характеристики верстата наведені в таблиці:

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

Маса верстата, кг	6000
-------------------	------

2.7. Визначення режимів різання для обробки вала

- 1) Розрахунок режимів різання будемо виробляти для токарної операції 015.
 - 2) Устаткування - токарний верстат моделі 1А64.
 - 3) Застосовуємо різець з пластинами з твердого сплаву Т5К10 з розміром державки різця 25×20 мм.
 - 4) Точити поверхню $\varnothing 12$. Припуск $h = 16$ мм, довжина 10 мм.
 - 5) Режими різання визначимо аналітичним методом.
 - 7) Чернове точіння. $h = 10$ мм. Припуск знімаємо за один прохід: $t = 10$ мм
 - 8) Чистове точіння. $h = 6$ мм. Припуск знімаємо за один прохід: $t = 6$ мм.
- Визначимо режими різання при чорновій обробці поверхні.

$$S_{\square} = S_{\square_T} * K_{S_{\Pi}} * K_{S_{И}} * K_{S_{Ж}} * K_{S_{М}} \quad (2.8)$$

де $S_{O_T} = 0,4$ мм/об – подача обрана залежно від глибини різання.

$K_{S_{\Pi}} = 0,9$ - коефіцієнт в залежності стану поверхні (з коркою);

$K_{S_{И}} = 0,65$ - коефіцієнт в залежності від матеріалу інструменту (Т5К10);

$K_{S_{Ж}} = 0,62$ - в залежності від найбільшого діаметра оброблюваної поверхні;

$K_{S_{М}} = 1,07$ коефіцієнт в залежності від оброблюваного матеріалу (Сталь 38ХА).

$$S_{\square} = 0,4 * 0,9 * 0,65 * 0,62 * 1,07 = 0,16 \text{ мм/об}$$

За паспортними даними верстата приймаємо подачу рівну $S_o = 0,16$ мм/об

$$V = V_T * K_{v_{И}} * K_{v_{\phi}} * K_{v_{\Pi}} * K_{v_{O}}, \text{ м/хв} \quad (2.9)$$

де $v_T = 250$ м/хв - швидкість різання при точінні стали 38ХА;

Поправочні коефіцієнти на швидкість різання при точінні легованої сталі:

$K_{v_{И}} = 1,0$ в залежності від матеріалу інструмента (Т5К10);

$K_{v_{\phi}} = 0,9$ в залежності від головного угла в плані;

$K_{v_{\Pi}} = 0,85$ в залежності від стану поверхні (с коркой);

$K_{v_{O}} = 1,0$ в залежності від умов обробки (с СОЖ).

$$V = 250 * 1 * 0,9 * 0,85 * 1 = 191,25 \text{ м/хв}$$

За встановленої швидкості різання визначаємо частоту обертання шпинделя верстата.

$$\begin{aligned} \text{Частота обертів. } n &= \frac{1000 * V}{\pi * D} \frac{\text{об}}{\text{хв}} \\ n &= \frac{1000 * 191,25}{3,14 * 12} = 5075,6 \text{ об/хв} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Розрахункове значення n порівнюється з паспортними даними верстата. Для подальших розрахунків приймається найближче менше значення з ряду частот обертання шпинделя $n = 5100$ (об/хв).

Основний технологічний час.

$$T_0 = \frac{L}{S * n}, \text{ хв} \quad (2.11)$$

$$T_0 = \frac{10}{0,16 * 537,7} = 0,12$$

Сила різання.

$$P_z = 10 * C_p * t^x * S^y * V^n * K_p, \text{ Н} \quad (2.12)$$

де K_p – узагальнений поправочний коефіцієнт на умови різання.

$$K_p = K_{Mp} * K_{\varphi p} * K_{\gamma p} * K_{\lambda p} * K_{rp} \quad (2.13)$$

$$K_p = 0,75 * 0,94 * 1 * 1 * 0,93 = 0,66$$

$$P_z = 10 * 300 * 10 * 0,16^{0,75} * 191,25^{-0,15} * 0,66 = 2227,5 \text{ Н}$$

Потужність різання.

$$N_e = \frac{P_z * V}{1020 * 60}, \text{ кВт} \quad (2.14)$$

$$N_e = \frac{2227,5 * 191,25}{1020 * 60} = 6,96 \text{ кВт}$$

1. Визначимо режими різання при чистової обробки поверхні.

Визнач подачу:

$$S_{\square} = 0,4 * 0,9 * 0,65 * 0,62 * 1,07 = 0,16 \text{ мм/об}$$

За паспортними даними верстата приймаємо подачу рівну $S_o=0,16$

$$V = 250 * 1 * 0,9 * 0,85 * 1 = 191,25 \text{ м/хв}$$

За встановленої швидкості різання визначаємо частоту обертання шпинделя верстата.

Частота обертів. $n = \frac{1000 * V}{\pi * D} \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (2.10)$

$$n = \frac{1000 * 191,25}{3,14 * 12} = 5075,6 \text{ об/хв}$$

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

$$N_e = \frac{2227,5 * 191,25}{1020 * 60} = 6,96 \text{ кВт}$$

Точити канавку Ø9,8. Припуск $h = 2,2$ мм, довжина 2 мм.

Режими різання визначимо аналітичним методом.

Визначаємо глибину різання за один прохід

$$t = \frac{D-d}{2}, \text{ мм} \quad (2.15)$$

де D – діаметр заготовки;

d – діаметр деталі.

$$t = \frac{12 - 9,8}{2} = 1,1 \text{ мм}$$

Призначаємо подачу $S=0,4$ мм/об

Визначаємо швидкість різання

$$V = v_{\text{табл.}} * K_1 * K_2 * K_3 \quad (2.16)$$

де $v_{\text{табл.}}$ – табличне значення швидкості різання;

$$v_{\text{табл.}} = 170 \text{ м/с}$$

в — о о

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

Підставивши значення в формулу (2.17), отримаємо:

$$P_z = 135 * 0,8 * 1 = 108 \text{ Н}$$

Тоді потужність буде:

$$N_{\text{рез}} = \frac{108 * 210,8}{1020 * 60} = 0,372$$

Щоб потужність приводу верстата 1А64 була достатня для здійснення токарної операції, необхідно щоб виконалось умова нерівності:

$$N_{\text{рез}} \leq N_{\text{шп.ті}} \quad (2.18)$$

Потужність, що витрачається на обертання шпинделя верстата дорівнює

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{дв}} * \eta, \text{ кВт} \quad (2.19)$$

У верстата 1А64

$$N_{\text{дв}} = 17 \text{ кВт}$$

$$\eta = 0,8$$

Підставивши значення в формулу (2.19), отримаємо

$$N_{\text{шп}} = 17 * 0,8 = 13,6 \text{ кВт}$$

Перевіряємо нерівність (2.18)

$$13,6 < 17$$

Нерівність виконано. Отже, потужність приводу верстата 1А64 достатня для здійснення даної токарної операції. Обробка можлива.

Основне технологічне час визначається за формулою $T_0 = \frac{L}{s * n}$, хв

$$T_0 = \frac{2}{0,4 * 6850} = 0,01, \text{ хв}$$

Решта результатів розрахунків режимів різання, сил різання потужності і основного технологічного часу по кожній операції зведемо в таблицю 2.10.

Таблиця 2.10. Режими різання обробки заготовки валу

Номер операції	Зміст операції	Глибина різання, t, мм	Подача, S, мм/об	Швидкість різання V, м/хв	Частота обертів, n, об/хв	Сила різання, Pz, Н	Основний час To, хв	Потужність різання, N, кВт
----------------	----------------	------------------------	------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------	---------------------	----------------------------

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

	l=17	Чистова	3	0,4	323	5332	180	0,33	7,6
	Нарізати різьбу	Чернова	2,2	0,3	191,2	4460	210	12,3	5,6
	Сняти фаски	Чистова	0,5	0,25	191,2	4460	190	7,2	5,2
020	Точити Ø19,5, l=21	Чернова	5,5	0,3	180	5260	220	1,2	6,1
		Чистова	3	0,33	166	5100	220	0,8	8,9
	Точити канавку Ø15, b=4	Чернова	10,5	0,2	210	5600	230	2,1	9,1
		Чистова	2,5	0,2	190	5420	210	0,7	9,1
	Точити Ø20, l=26	Чернова	4	0,4	180	5530	191,2	1,8	8,7

	Чистова	4	0,4	190	5530	191,2	0,8	8,7
Точити Ø26, l=2,5	Чистова	1	0,5	186	6655	211	0,5	14,2
Зняти фаски	Чистова	0,5	0,4	180	6534	190	3,6	11,2

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

2.8. Вибір різального інструменту за системою ISO 9001

Ріжучий інструмент, необхідний для обробки заготовки вал зведемо в таблицю 2.11.

Таблиця 2.11 Інструмент стандарту ISO 9001

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

035	Шліфувальна	Шліфувальний круг на керамічній зв'язці D=3-25 мм, H = 1-40 мм, зернистість 40-10
045	Шліфувальна	Шліфувальний круг на керамічній зв'язці D=3-25 мм, H = 1-40 мм, зернистість 40-10
050	Полірувальна	Шліфувальний круг на керамічній зв'язці D=3-25 мм, H = 1-40 мм, зернистість 40-10

3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Проектування верстатного пристосування

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

результат механізації пристосувань,

4) розширити технологічні можливості використовуваного обладнання.

Для ефективного використання верстатів та верстатних пристосувань пред'являється ряд вимог.

Для забезпечення високої точності обробки заготовок пристосування повинні бути виконані з високою точністю. Похибки базування і закріплення повинні бути зведені до мінімуму. Конструкція пристосування не повинна бути найбільш податливим ланкою системи верстат-пристосування-інструмент - деталь, щоб використовувати повну потужність верстата на чорнових операціях і забезпечувати високу точність на чистових операціях. Пристосування має забезпечувати чітку інструментальну доступність, тобто можливість підходу інструменту до якомога більшій кількості поверхонь

заготовки. Пристосування повинні забезпечувати скорочення часу затиску-разжима заготовки. Для скорочення часу переналагодження верстатів пристосування повинні забезпечувати можливість їх швидкої зміни або переналагодження.

При фрезеруванні паза шириною 6Н11, довжиною 20,5 мм, на операції 025 Шпоночно - фрезерна, застосовано верстатне пристосування для установки деталі на столі верстата 6Д92. Розміри робочої поверхні стола 200 × 700 мм. На столі верстата є 3 Т-подібних паза розмірами: середній паз 18Н8 для базування верстатного пристосування; 2 крайніх паза, розмірами 18Н12, для закріплення пристосування болтами М16. Деталь при обробці повинна займати горизонтальне положення і базуватися за двома сходами $\varnothing 45k6$ і торця $\varnothing 55$, тому доцільно застосувати базові елементи - стандартні призми - 28, ДСТУ 12195-66, для створення подвійний направляючої бази. Закріплення деталі проводиться прихватом системи УРП, тип 6, 7021-0386 -

5. Зажим деталі механізований за допомогою стандартної пневмокамери - 100мм, ДСТУ 1250-84. Призми - 28 встановлених на корпусі пристосування -1, який має знизу дві стандартні шпонки 18x11, довжиною 30 мм, ДСТУ14787-69, для створення направляючої технологічної бази.

3.2. Розрахунок точності верстатного пристосування

Проектована верстатне пристосування при розточування патрубку має забезпечувати необхідний рівень точності, що відповідає виконанню умови:

$$\varepsilon \leq [\varepsilon] \quad (3.1)$$

де ε - дійсна величина похибки;

$[\varepsilon]$ - допустима величина похибки.

Допустима величина похибки залежить від прийнятої схеми базування, величина допуску на розмір і похибок механічної обробки.

$$[\varepsilon] = IT - K_y \cdot W \quad (3.2)$$

де IT - допуск на виконуваний розмір, мкм;

K_y - коефіцієнт посилення точності обробки: $K_y = 0.6$;

W - середньо-економічна точність обробки.

$$[\varepsilon] = 1200 - 0,6 \cdot 400 = 960 \text{ мкм.}$$

Дійсна похибка пристосування включає три складові:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\Pi}^2} \quad (3.3)$$

де ε_6 - похибка базування;

ε_3 - похибка закріплення;

ε_{Π} - похибка положення.

Похибка базування = 0 тому, що установча база поєднується з конструкторською базою. Похибка закріплення визначається за формулою:

Похибка базування $\varepsilon_6 = 0$ тому, що установча база поєднується з конструкторською базою. Похибка закріплення визначається за формулою:

$$\varepsilon_3 = [(K_{Rz} \cdot Rz + K_{HB} \cdot HB) + C] \cdot \left(\frac{Q}{9.8}\right)^n \frac{1}{F^m}$$

де K_{Rz} - коефіцієнт, що враховує шорсткість поверхні;

K_{HB} - коефіцієнт що враховує твердість поверхні;

C - коефіцієнт, що характеризує умови контакту;

Q - сила діє на опору, Н;

F - площа контакту опори з заготівлею, см².

$$\varepsilon_3 = [(-0.005 \cdot 20) + 1.06] \cdot \left(\frac{21531,29}{9.8}\right)^{0.8} = 452 \text{ мкм мкм.}$$

$$\text{Похибка положення: } \varepsilon_{\Pi} = \sqrt{\varepsilon_y^2 + \varepsilon_c^2 + \varepsilon_{\Pi}^2} \quad (3.4)$$

де - похибка через неточності виготовлення і складання деталей СП;

- похибка через неточності установки на столі верстата;
- похибка через зношування поверхонь настановних елементів.

$$\varepsilon_{\text{и}} = \beta \cdot \sqrt{N} \cdot \cos \alpha \quad (3.5)$$

де β - коефіцієнт, що визначає вплив умов обробки на величину зносу;

N - річна програма випуску деталей;

α - кут між напрямком виконуваного розміру і напрямком,

перпендикулярним поверхні установочного елемента в зоні контакту.

$$\varepsilon_{\text{и}} = 1 \cdot \sqrt{25000} \cdot \cos 0^\circ = 158 \text{ мкм.}$$

Похибка через неточності установки дорівнює = 20 мкм.

Тоді похибка положення дорівнює

$$\varepsilon_{\text{н}} = \sqrt{0^2 + 20^2 + 158^2} = 159 \text{ мкм мкм.}$$

Дійсна похибка дорівнює

$$\varepsilon = \sqrt{0^2 + 452^2 + 159^2} = 479,15 \text{ мкм мкм.}$$

Отже, умова $\varepsilon \leq [\varepsilon]$ виконується, тому що $479,15 \leq 960$, обрана схема базування і закріплення заготовки і пристосування забезпечує задану точність обробки.

3.3. Розрахуємо сили закріплення

Пристосування проектується для операції механічної обробки деталі корпус. Для розрахунку сил закріплення в найбільш загальному випадку необхідно знати умови проектованої обробки - величину, напрям і місце докладання зусиль, що зрушують заготовку, а також схему її установки і закріплення.

Сила закріплення повинна бути достатньою для попередження зсуву встановленої в пристосуванні заготовки. В процесі фрезерування поверхні на заготовку діє сила різання P_z яка зміщує заготовку. Визначимо силу закріплення Q за формулою:

$$Q = \frac{0.64 \cdot K \cdot M}{\pi \cdot d^2 \cdot l \cdot f} \quad (3.6)$$

де, K - коефіцієнт запасу міцності;

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (3.7)$$

де K_0 - коефіцієнт, що враховує раптові фактори;

K_1 - враховує нерівності поверхонь;

K_2 - збільшення сил різання від затуплення ріжучого інструменту;

K_3 - збільшення сили різання при переривчастому фрезеруванні;

K_4 - враховує тип пристрою;

K_5 - зручне положення рукоятки;

K_6 - наявність моментів прагнуть повернути заготовку.

$$K = 1.5 \cdot 1.2 \cdot 1.7 \cdot 1.2 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.5 = 5.51$$

f_1 - коефіцієнт тертя між поверхнею заготовки та важеля;

f_2 - коефіцієнт тертя між поверхнею заготовки та опорами.

$$Q = \frac{0,64 \cdot 5,51 \cdot 925845,47}{3,14 \cdot 75^2 \cdot 135 \cdot 0,25} = 5,48 \text{ Н}$$

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1 Автоматизований процес виготовлення деталі "Вал" на токарно-фрезерному верстаті з ЧПК

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

AUTODESK Feature Cam дозволяє підвищити продуктивність верстатів і, одночасно з цим, досягти найвищої якості при виготовленні деталей і оснастки.

Мета даного розділу - показати приклад одного з можливих варіантів механічної обробки із застосуванням 4-х координатного верстата, а також підвищення ефективності та продуктивності при створенні керуючих програм для верстатів з ЧПУ в умовах серійного виробництва.

Основні переваги пакету Feature Cam 2014:

- Гнучкі стратегії чорнової і чистової обробки;
- Висока швидкість розрахунку керуючих програм;
- Автоматизована оптимізація подач для скорочення часу обробки;

- Інтегровані засоби візуалізації обробки;
- Перевірка і виключення врізів;
 - Імпорт твердотільних, поверхневих і Фасетное моделей, а також каркасної геометрії в різних форматах: AutoCAD, STL, STEP, IGES, Parasolid;
 - Автоматичне розпізнавання типових елементів (отвори, кишені, кишені і т.д.) і їх обробка;
 - Закриття отворів і пазів для виключення їх обробки;
 - Гнучкий механізм кордонів для обмеження зони обробки;
 - Генерація карт налагодження для керуючих програм;
 - Контроль зіткнень з урахуванням патрона, інструменту, органів верстата і оправлення.

4.2 Створення моделі і симуляція обробки деталі

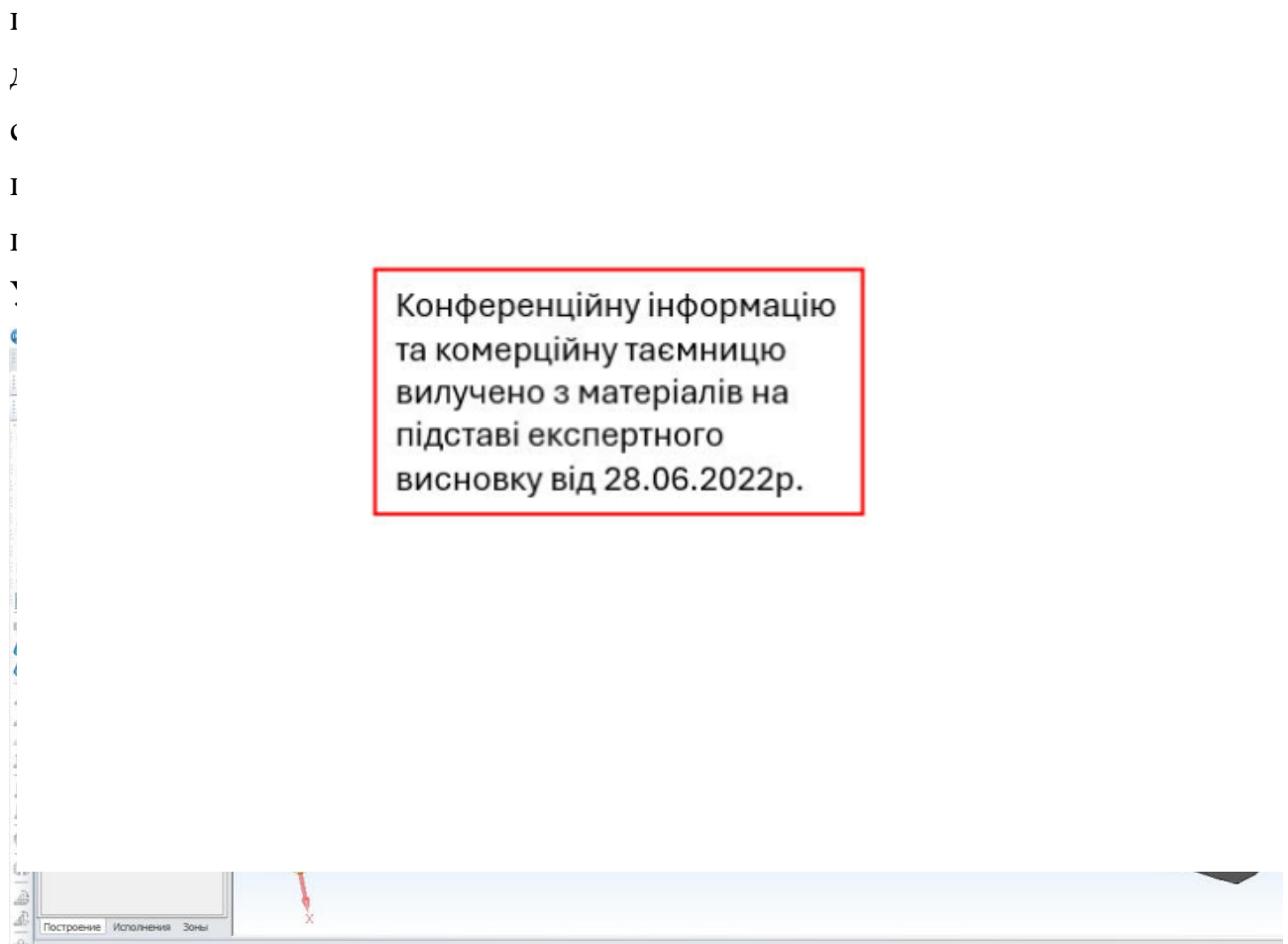


Рис.4.2 Тривимірна модель деталі "Вал" в SOLIDWORKS

- Моделі заготовки була обрана зі стандартних елементів програми Feature Cam, параметри якої були прораховані в технологічному процесі виготовлення деталі.

4.3 Вибір стратегії обробки і устаткування

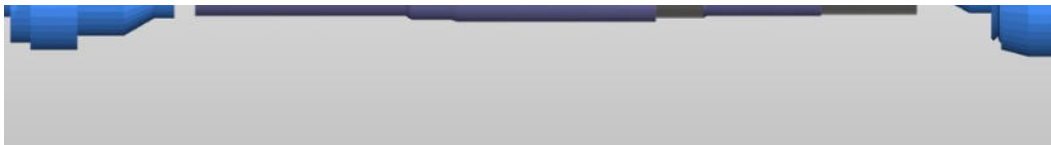
В основі вибору стратегії обробки варто розрахунок мінімального основного технологічного часу, тому що економічний ефект буде багато в чому визначатися саме часом обробці. Для даної заготовки виберемо верстат, який є в базі програми, тому що це демонстраційна версія. У пакеті Feature CAM існує утиліта для створення моделі верстата, завдяки якій можна створити модель будь-якого токарно-фрезерного верстата в умовах реального виробництва. Також в програмний комплекс входить утиліта для написання і редагування

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.




Рис. 4.3 Імпорт моделі вала в програму Feature CAM

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

4.4 Генерування керуючої програми для верстата з ЧПУ

Після повної обробки в якості результату отримуємо не тільки графічне відображення результату і візуалізацію, але і машинний код для верстата з ЧПУ, тобто відбувається генерація керуючої програми. Фрагмент цієї програми представлено нижче:

```
N10 ; (MULTICUT 500 S)  
N20 ; (SYSTEM: SINUMERIK 840D)  
N30 ; (POSTPROCESSOR: MULTICUT VEKT-3D)
```

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

```
N68300 X-119.758 Y53.008 Z-46.722 B18. C=DC(-180.)  
N68310 X-125.938 Y53.008 Z-27.701 B18. C=DC(-180.) F3000  
N68320 TROFF  
N68330 M5  
N68340 M30
```

Висновок: дані технічні можливості програм і обладнання на сьогоднішній день дозволяють виключити на 90% можливість появи небажано шлюбу ще на стадії проектування і створення КП для верстатів, що в свою чергу, позитивно відбивається на економічній ефективності.

Також варто додати, що застосування таких обробних центрів дозволяє скоротити значний верстатний парк, тобто відбувається комбінування можливостей різних моделей в одному верстаті.

4.5 Оптимізація процесу обробки матеріалів при використанні технології MachineDNA в поєднанні з високошвидкісною стратегією обробки Vortex для CAM-систем

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

дозволяє виконувати більш глибокі проходи, ніж традиційно використовували при операціях чорнової обробки. Vortex дає можливість отримати максимальні переваги від застосування цілісного твердосплавного інструменту, здатного забезпечити глибоке фрезерування і точіння всій висотою робочої частини інструменту, і тим самим значно скоротити час обробки. Застосування стратегії Vortex забезпечує безперервну роботу верстата з ЧПУ на максимально реалізуються фактичних швидкостях подачі, за рахунок чого підвищується продуктивність обробки. Незважаючи на високі фактичні швидкості подачі, стратегія Vortex підтримує навантаження на інструмент в строго допустимих виробником межах, дозволяючи тим самим реалізувати на практиці заявлений термін служби інструменту.

Подібно до інших стратегій чорнової обробки, розроблених компанією Delcam, Vortex покликана забезпечити генерацію високоефективних траєкторій

інструменту з мінімумом переміщень інструменту по повітрю. Це якість найбільш важливо при операціях видалення залишкового припуску.

Одна з фундаментальних проблем, що виникає при програмуванні чорнової обробки звичайними стратегіями полягає в тому, що оптимальні умови різання досягаються тільки на прямолінійних ділянках траєкторій, а при обробці внутрішніх кутів значно збільшується глибина врізання (проходу). Щоб запобігти надмірному зростанню навантаження на інструмент, САМ-система повинна компенсувати це збільшення навантаження зменшенням швидкості подачі. Далі користувач має вибір: використовувати занижені безпечні для інструменту швидкості подачі на всіх ділянках траєкторії, із-за чого істотно виросте час обробки, або варіювати швидкість подачі на всіх ділянках траєкторії, але при цьому зросте швидкість зносу інструменту (за рахунок збільшення навантаження на ділянках з підвищеною глибиною врізання).

На відміну від інших високошвидкісних стратегій чорнового фрезерування, які прагнуть підтримувати постійної якусь теоретичну швидкість видалення матеріалу, стратегія Vortex генерує траєкторії інструменту з контрольованою постійною глибиною врізання на всіх ділянках траєкторії. Це дозволяє підтримувати оптимальні умови різання для всієї траєкторії переміщення інструменту, що раніше було б досягти тільки на прямолінійних ділянках. В результаті скорочується час обробки, причому швидкість видалення матеріалу, швидкість подачі і навантаження на інструмент більш постійні, що збільшує термін служби інструменту і продовжує ресурс верстата.

Оскільки стратегія Vortex заснована на підтримці постійної глибини врізання, то інструмент ніколи не буде перевантажений і його термін служби буде максимальним. У цій стратегії виключена поява різких шоків навантажень на інструмент, викликаних зміною глибини врізання, завдяки чому зменшується ймовірність розколювання цільної фрези. Крім того, стабільні режими різання забезпечують сталість теплового балансу, запобігаючи тим самим надмірний нагрів інструменту.

Все це збільшує термін служби зміцнюючого покриття інструменту і запобігає термічне пошкодження (разупрочнение) поверхні оброблюваної деталі. Нарешті, можливість використання інструменту, в два або три рази

менше дозволяє рівномірніше розподілити знос по всьому ріжучих крайок, що також продовжує термін служби інструменту.

При традиційній чорновій обробці звук постійно змінює свій тон, за яким можна судити про вібрації і навантаження на інструмент. Обробка зі стратегією Vortex супроводжується звуком постійного тону, що свідчить про незмінність режимів обробки. Користувачі також побачать відмінність в постійному розмірі і товщині виробленої стружки, що буде ще одним доказом сталості режимів різання. Нова стратегія Vortex є основною перевагою САМ-систем PowerMILL і FeatureCAM з підтримкою 64-бітових операційних систем сімейства Windows і можливістю розпаралелювання обчислень на багатоядерних процесорах, завдяки чому PowerMILL продовжує зберігати лідерство в швидкості генерації керуючих програм. Також PowerMILL має великі можливості за завданням підведень і переходів, які можуть використовуватися спільно з покроковою стратегією обробки (stepcutting). Дана стратегія мінімізує величину припуску, який може залишатися, автоматично додає додаткові проходи інструменту для видалення залишкового матеріалу між шарами обробки. Це оптимізує кількість матеріалу, який може бути видалений одним інструментом, а також допомагає підтримувати постійну швидкість видалення матеріалу шляхом збільшення швидкості подачі на проміжних ділянках.

У всіх САМ-системах програмісти-технологи верстатів з ЧПУ працюють за однаковою схемою: за допомогою САМ-системи вони розробляють складається з окремих траєкторій руху інструменту керуючу програму, яка потім перетворюється в програмний код для певної стійки верстата з ЧПУ. Для кожної деталі користувач повинен вибрати найбільш ефективні методи обробки, а саме: чорнові стратегії для видалення основної частини припуску заготовки, стратегію для доопрацювання залишку, методи напівчистої і, нарешті, чистої обробки.

При цьому для кожної стратегії задаються конкретні параметри обробки, такі як частота обертання шпинделя, швидкість подачі, крок між проходами, глибина врізання, мінімальний радіус заокруглення в кутах, точність опису криволінійної траєкторії прямими переміщеннями і багато інших параметрів, в точності що задають режим роботи верстата. Виробники інструменту публікують в своїх каталогах рекомендовані параметри обробки конкретних

типів матеріалів, однак ці режими зазвичай підходять тільки для обробки досить простих деталей за допомогою переважно прямолінійних переміщень інструменту. А деякі параметри, такі як мінімальний радіус заокруглення в

кутах або крок опису криволінійної траєкторії, програміст-технолог може задати, тільки виходячи з власного досвіду. Ці визначені користувачем параметри мають дуже велике значення для сучасних

САМ-систем, так як згенеровані ними керують програми, особливо для чорнової обробки, стають все більш складними і складаються головним чином з дугоподібних траєкторій руху інструменту, а не з прямолінійних. Сучасні стратегії забезпечують високу продуктивність чорнової обробки і базуються на підтримці постійної швидкості видалення матеріалу, завдяки чому навантаження на інструмент змінюється більш плавно, без різких ударних стрибків. Це забезпечує високу швидкість подачі, підвищує термін служби інструменту і ресурс верстата. Сучасні стратегії обробки зі складними траєкторіями руху інструменту забезпечують високу продуктивність обробки, але абсолютно не беруть до уваги те, як багатоосевой верстат відреагує на складну просторову траєкторію руху інструменту. Наприклад, кожен тип верстата має власні обмеження по швидкості і прискорення переміщення робочих органів, а також різну швидкість виконання команд і мінімальний час реакції стійки верстата з ЧПУ.

Досягаються за допомогою стратегії Vortex переваги залежать від цілого ряду чинників, в тому числі: форми деталі, властивостей матеріалу, характеристик використовуваного інструменту, а також можливостей верстата з ЧПУ.

Тести, проведені компанією Delcam на різних верстатах, свідчать про те, що скорочення часу обробки становить, принаймні 40%. Найбільша продуктивність була досягнута при обробці інструментальної сталі на верстаті Huron з використанням інструменту SGS Z-Carb MD, при цьому час виготовлення тестової деталі знизилося з 121-ї до 34-х хвилин (табл. 4.1), що еквівалентно 71% економії часу. В інших тестах при обробці деталей з декількома кишнями економія часу склала 67% для заготовки з нержавіючої сталі, 63% для титану і 58% для алюмінієвого сплаву. Стійки сучасних верстатів з ЧПУ автоматично знижують фактичну швидкість подачі на

криволінійних траєкторіях інструменту, оберігаючи верстат від надмірних динамічних навантажень.

Таблиця 4.5.1 – Порівняння продуктивності процесу обробки при використанні стратегії обробки Vortex і без неї.

	Час, який витрачається на обробку, мин		Економія часу, %
	-	Vortex	
Нікелеві сплави	152	74	51,3
Титанові сплави	129	54	58,1
Інструментальні сталі	121	34	71,9
Конструкційні сталі	108	28	74,1
Чавун	112	32	71,4
Бронза	82	29	64,6
Алюміній	91	38	58,2

На підставі вище представленими таблиці побудована діаграма (рис. 4.1) дозволяє наочно оцінити час, витрачений на обробку різних обробок. Далі представлений графік (рис. 4.2) ефективності використання стратегії обробки

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

характеристики конкретного верстата і передати необхідні дані в стратегію Vortex для генерації високошвидкісних УП. Потім траєкторії інструменту автоматично оптимізуються з урахуванням можливостей конкретного верстата, дозволяючи досягти максимально можливої продуктивності обладнання. Технологія MachineDNA є унікальною і не має аналогів серед інших САМ-систем.

У нових версіях САМ-систем FeatureCAM і PowerMILL компанії Delcam реалізована функція Machine DNA Profiler, яка виконує серію автоматизованих тестів на конкретному верстаті для того, щоб визначити його фактичні характеристики. Наприклад, можна з'ясувати, які рухи інструментом здатний виконувати верстат при будь-якій заданій швидкості подачі. Результати тестів надходять назад в САМ-систему і використовуються для оптимізації керуючих програм під конкретний верстат.

Як і раніше, користувач повинен буде поставити для САМ-системи параметри обробки відповідно до характеристиками оброблюваного матеріалу і застосовуваного інструмента. Інші параметри, такі як мінімальний радіус заокруглення і крок опису криволінійної траєкторії, будуть автоматично призначені САМ-системою PowerMILL на підставі результатів тестів,

виконаних в Machine DNA Profiler. такий метод гарантує вибір оптимальних науково обґрунтованих режимів обробки певної деталі на конкретному верстаті замість того, щоб повністю покладатися на досвід роботи користувача з тих чи інших верстатом. Програмне рішення Machine DNA Profiler є першою спробою реалізації наукового підходу для підвищення продуктивності роботи верстатів з ЧПУ за рахунок адаптації керуючих програм під можливості конкретного обладнання. Раніше цикл тестування і оптимізації керуючих програм застосовувався тільки при великосерійному виробництві, при якому вартість і час, витрачені на доведення керуючих програм, окупалися на випуск багатотисячної партії деталей. Але такий підхід неприйнятний для досвідченого або дрібносерійного виробництва, так як забирає надто багато виробничих ресурсів. Тому часто такі компанії жертвували продуктивністю верстатів і застосовували якісь перевірені на практиці параметри, що забезпечують стабільну якість і відносно прийнятну ефективність обробки.

Використовуючи серію стандартних тестів в Machine DNA Profiler, для кожного верстата можна визначити його оптимальні параметри, а потім застосовувати їх для генерації високоефективних керуючих програм,

замість того, щоб намагатися налаштувати продуктивність обробки за допомогою ручного підбору швидкості подачі, що забезпечує прийнятну продуктивність.

Більшість програмістів-технологів верстатів з ЧПУ відчують постійну нестачу часу і змушені розробляти керуючі програми максимально швидко, не домагаючись ефективності їх роботи на конкретному верстаті шляхом ручного підбору найкращих параметрів. ромі того, така доведення ЧПУ-програм зажадає виготовлення серії тестових деталей. Застосування технології Machine DNA Profiler дозволяє користувачеві САМ-системи бути повністю впевненим у тому, що керуюча програма завжди використовує оптимальні параметри обробки. В результаті скорочується час розробки високоефективних керуючих програм, відпадає необхідність у виготовленні тестових зразків, а також скорочується час обробки деталі на верстаті з ЧПК. У багатьох випадках виробники спочатку виготовляють кілька деталей на помірних, перевірених досвідом подачах і швидкостях, а потім намагаються поступово збільшувати ці параметри для певних стратегій або всієї керуючої програми в цілому, тим

самим намагаючись підвищити продуктивність обробки. Рідко, коли продуктивність розглядається з позиції параметрів обробки окремих елементів деталі.

Загальні висновки та рекомендації

1. За результатами магістерської роботи досягнуто підвищення ефективності механічної обробки деталей з легованих сталей.
2. Отримано алгоритм призначення оптимальних параметрів механічної обробки при точінні легованих сталей, які забезпечують підвищення продуктивності і зниження вартості операції.
3. Складена раціональна технологія автоматизованої обробки складнопрофільних поверхонь за умов використання CAD-CAM систем.
4. Виявлено функціональні зв'язки в технологічному процесі виготовлення деталі з легованої сталі, які полягають у впливі геометрії ріжучого інструменту, режимів різання та спеціальних покриттів на інструментальних матеріалах.
5. Описана методика забезпечує підвищення ефективності механічної обробки деталей з на верстатах з ЧПУ за умови використання спеціалізованих інженерних програм.
6. Застосування Machine DNA Profiler дозволить створювати високоефективні керуючі програми, які не потребують подальшої оптимізації та одразу забезпечують найвищу продуктивність верстата з ЧПК.
7. За допомогою Machine DNA Profiler програміст-технолог зможе швидко отримати всю необхідну CAM-системі інформацію для генерації нових, більш ефективних керівників програм, максимально використовують можливості обладнання, що, в свою чергу, забезпечить більш швидке повернення інвестицій.

ВИСНОВОК

Після викладу розділів дипломного проекту зробимо висновки про виконану роботу в наступному:

- в аналітичному розділі проведено аналіз креслень конструкцій деталі Вал з метою визначення якісної оцінки технологічності конструкцій та визначення коефіцієнта уніфікації деталей, що представляє собою кількісну оцінку технологічності конструкцій деталей;

- в технологічному розділі визначається тип виробництва і форма організації технологічного процесу виробництва деталей вал, вибирається і економічно обґрунтовується спосіб отримання заготовок, розробляється маршрут обробки деталей, визначаються режими різання. У розробленому маршруті обробки деталей досягли вищої точності і зниження основного технологічного часу за рахунок застосування сучасного універсального обладнання з числовим програмним управлінням, прогресивного інструменту і оснастки, а також раціональної послідовності обробки деталі Вал

- в конструкторському розділі спроектовано спеціальне верстатне пристосування - пневматична, яке забезпечує мінімальне допоміжний час на установку, закріплення і зняття деталі після обробки; необхідну точність і жорсткість при закріпленні заготовки; безпечні умови обробки на верстаті;

- в спеціальному розділі виконаний розрахунок автоматизованої технології обробки за представленою 3D-моделі деталі вал. Запропоновано раціональні способи обробки деталі за допомогою CAD / CAM-систем, з обов'язковим розрахунком керуючої програми для верстата з ЧПУ. Також в спеціальному розділі розглянуті варіанти оптимізації процесу обробки матеріалів при використанні технологій MachineDNA в поєднанні з високошвидкісною стратегією обробки Vortex для CAM-систем.

Перелік посилань

- 1) Довідник користувача ЄКТС [Електронний ресурс].
<https://kpi.ua/files/ECTS.pdf> (дата звернення: 04.11.2017).
- 2) ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.
- 3) ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.
- 4) ДСТУ 3.1105-2011. Єдина система технологічної документації. Форми та правила оформлення документів загального призначення
- 5) ДСТУ 2.104-2006 Єдина система конструкторської документації. Основні написи (2.104-2006, IDT).
- 6) ДСТУ 3.1103:2014 Єдина система технологічної документації. Основні написи. Загальні положення (3.1103-2011, IDT).
- 7) ДСТУ 3.1102:2014 Єдина система технологічної документації. Стадії розробки та види документів. Загальні положення (3.1102-2011, IDT).
- 8) Закон України «Про вищу освіту» [Електронний ресурс].
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.
- 9) Національна рамка кваліфікацій. [Електронний ресурс].
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-п>.
- 10) Стандарт вищої освіти України бакалаврського рівня. Галузь знань 13 Механічна інженерія. Спеціальність 131 Прикладна механіка. [Електронний ресурс].
<https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishchaosvita/zatverdzeni%20standarty/2019/06/25/131-prikladna-mekhanika-bakalavr.pdf>.
- 11) Положення про навчально-методичне забезпечення освітнього процесу здобувачів вищої освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», затвердженого Вченою радою 22.01.2019, протокол № 2.
- 12) Положення про організацію атестації здобувачів вищої освіти

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»,
затверджене

Вченою радою 11.12.2018 (протокол № 15).

13) Положення про оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти, затверджене Вченою радою від 26.12.2017, протокол № 20 (у редакції, що ухвалена Вченою радою 18.09.2018, протокол № 11).35

14) Положення про проведення практики здобувачів вищої освіти
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»,
затверджене

Вченою радою 11.12.2018 (протокол № 15).

15) Положення про систему запобігання та виявлення плагіату в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка», затверджене Вченою радою 13.06.2018 (протокол № 8).

20) Салов В.О. Макет методичних рекомендацій до виконання кваліфікаційних робіт : мет. посіб. для наук.-пед. пр-ів. / В.О. Салов ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2019. – 37 с.

21) O. Bohdanov, V. Protsiv, V. Derbaba & S. Patsera. (2020). Model of surface roughness in turning of shafts of traction motors of electric cars. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, (1), 41-45. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-1/041>

22. Ю.Г. Кравченко. Визначення і взаємозв'язок кутів зсуву і тертя при стружкоутворенні / Ю.Г. Кравченко, В.А. Дербаба, Д.В. Смагін // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2020 – № 61. – 193-201. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/61.193>

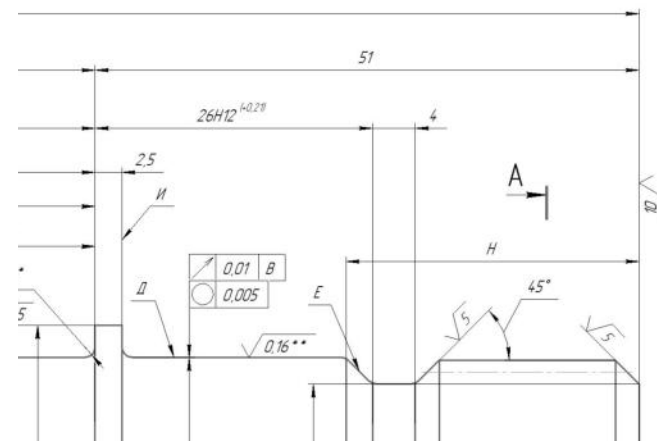
23. Kravchenko, Yu., & Derbaba, V. (2020). Empirical definition of the shearing angle and chip-edge contact length when cutting. Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 63, 123-133. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/63.123>

24. Дербаба В.А. Дослідження і удосконалення методики випробувань верстата на геометричну і кінематичну точність / В.А. Дербаба, В.С. Носачов, З.М. Різо

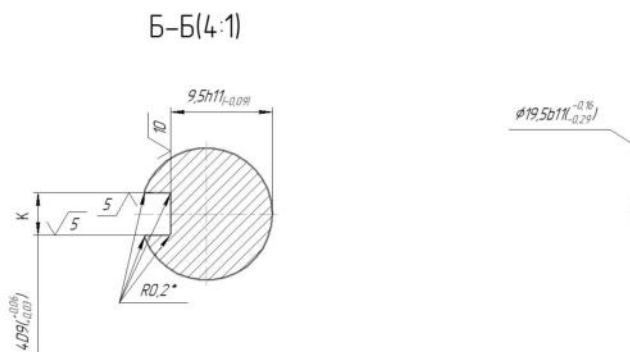
// Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2021 – № 64. С.198-212 <https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.198>

25. Проців В.В. Сучасні полімерні матеріали та технології в 3D-прінтингу / В.В. Проців, В.А. Козечко, В.А. Дербаба, О.О. Богданов// Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2021 – № 65 – С.107-117. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.107>

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.



0,05мм
ускоється

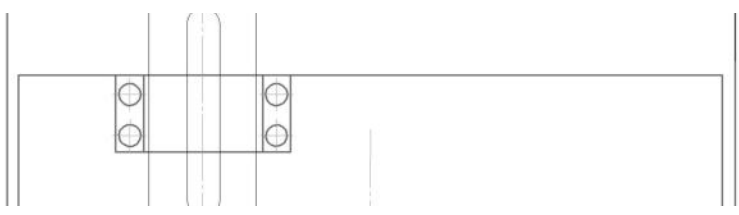
3,01	
Маса	Маса/об'
0,306	4,1
Листов	1
ТУ "ДП"	
журнал	41

21
24

25

270

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.



585

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

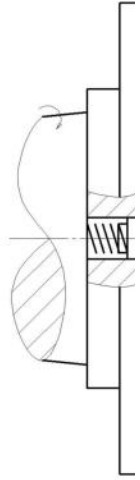
Лист № 001	Лист № 002	Лист № 003	Лист № 004	Лист № 005	Лист № 006	Лист № 007	Лист № 008	Лист № 009	Лист № 010
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

1
11

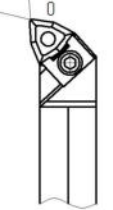
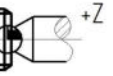
Контракт	Листов		
№	Листов		

Операція 015 Токарна з ЧПК

Обладнання: Токарно-фрезерний верстат з ЧПК DMG STX gamma 2000 TC



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.



Автоматизований процес виготовлення деталі «Вал» на токарно-фрезерному верстаті з ЧПК



Моделювання твер



Імпорт



Чорнове і чи



Загальний вид обробки з інструментальною головкою

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

Точіння канавок з правої сторони

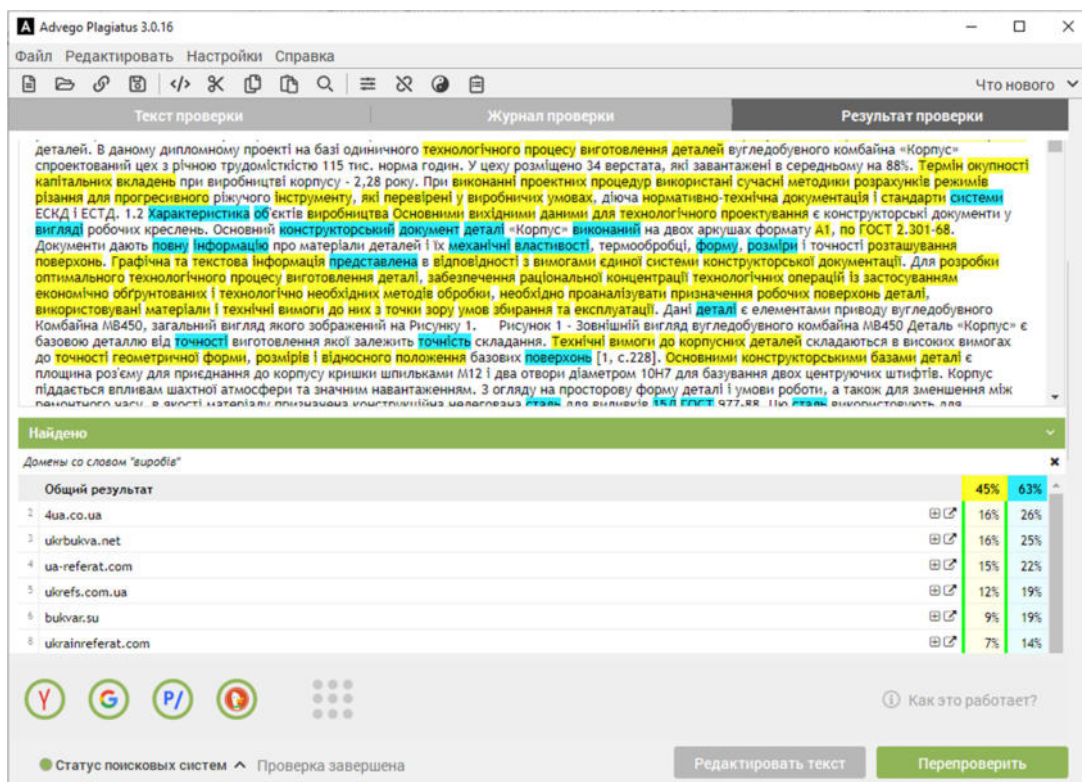
Готовий вид обробленої деталі «Вал» в AUTODESK Feature CAM

Результат перевірки унікальності тексту

випускної кваліфікаційної роботи магістра Тесленко В.С.

Advego Plagiatus <https://advego.com/antiplagiat/>

Дата перевірки: 30 травня 2022 року;
Інструмент перевірки: ADVEGO Plagiatus 3.0.16 for Windows 10 x64 bit
Пошукові системи: Google, DuckDuckGo
Зміст перевірки: пояснювальна записка та додатки роботи
Кількість перевірених символів: 66630
Унікальність за фразами, %: 55
Унікальність за словами, %: 37
Збіги, %: 45
Рейт, %: 63



Проверка завершена: **100%**

Унікальність: по фразах **55%** / по словам **37%**

Виконавець кваліфікаційної роботи _____ В.С. Тесленко
Керівник кваліфікаційної роботи _____ С.Т. Пацера
Перевірив текст _____ В.А. Дербаба
Завідувач кафедри _____ В.В. Проців

