

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 Захаренко Сергія Володимировича
академічної групи 131М-21Н-1 ММФ
спеціальності 131 Прикладна механіка
за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»

на тему: «Дослідження режимних параметрів процесу різання на
токарних операціях механічної обробки деталі Вал шліцьовий»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від

р. за № _____

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.

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

технологій машинобудування та матеріалознавства

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

_____ (підпис)

_____ (прізвище, ініціали)

«___» _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ

кваліфікаційну роботу

ступеню магістра

студенту Захаренко Сергію Володимировичу

академічної групи 131М-21Н-1 ММФ

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»

на тему: «Дослідження режимних параметрів процесу різання на токарних операціях механічної обробки деталі Вал шліцьовий»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від

_____ р. за № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналітичний	Опис конструкції та службового призначення деталі Аналіз технологічності конструкції деталі	
Технологічний	Розробка та обґрунтування маршруту обробки деталі, Вибір технологічного обладнання	
Спеціальний	Проектування верстатного пристосування	
Науково-дослідницький	Дослідження режимних параметрів процесу різання на токарних операціях	

Завдання видано _____

Пацера С.Т.

Дата видачі

Дата подання до екзаменаційної комісії

Прийнято до виконання _____

Захаренко С.В.

ВСТУП

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.

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 переналагоджуваною 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.

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 «Машінтех».

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Характеристика об'єкта виробництва

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Таблиця 1.1 Хімічні властивості сталі 38ХА

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Відпустка, охолодження у воді або маслі

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

t отпуски (°C)	$\sigma_{T/\sigma 0,2}$, МПа	σ_B , МПа	σ_5 , %	Ψ (%)	НВ
Пруток діаметром 25 мм. Загартування в масло з 860 ° C + Відпустка при 550 ° C					
-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 ° C + Відпустка при 680 ° C (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 ° C + Відпустка при 550 ° C (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 стали	σ_{-1} , МПа	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа
Загартування + відпустку	333	690	
НВ 241	392	980	830

1.1.2 Оцінка технологічності деталі

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

деталі (ресурс, товщина, шершавість) вимогам установці обробки і контролю.		
Відповідність оформлення робочого креслення деталі вимогам КД	+	-

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 валу.

Дані конструктивного аналізу деталі по поверхнях представлені в таблиці 1.4.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

поверхня	1	1	17	2,5
евольвента Ев18х1х18	1	-	11	2,5
Фаска 1 × 45 про	7	7	14	5
Фаска 0,5 × 45 про	2	2	14	5
Ітого:	$Q_3 = 22$	$Q_y = 19$	-	-

Визначимо коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів:

$$K_{yc} = \frac{Q_y}{Q_3} \quad (1.1)$$

де Q_y – кількість уніфікований елементів;
 Q_3 – загальна кількість поверхонь.

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

Так як $K_{yc} > 0,6$, можна зробити висновок, що деталь технологічна.

Визначимо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{и.м.}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{з}}} \quad (1.2)$$

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

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.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

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 17.07.2023р.

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

а

б,

в,

г)

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

е

$$N_c = \frac{25000}{254} = 98,43 \sim 99 \text{ шт.}$$

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:

$$T_B = \frac{60F_g m}{N} = \frac{60 \cdot 2030}{25000} = 4,87 \text{ мин}$$

Для деталі корпус:

$$T_B = \frac{60F_g m}{N} = \frac{60 \cdot 2030}{25000} = 4,87 \text{ хв}$$

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

Таблиця 2.1 Відомість виконання основних операцій обробки деталі вал:

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Середній штучний час за операціями визначимо за формулою:

$$T_{\text{шт.ср.}} = \frac{T_{\text{о.ср.}}}{K}, \text{ хв} \quad (2.3)$$

где $T_{\text{о.ср.}}$ – Середній основний технологічний час;

K – коефіцієнт безперервності роботи верстатів.

Середнє основне технологічне час визначимо за спеціальними формулами для кожної операції:

Підрізання торців:

$$T_{\text{о.ср.}} = 0,037 * 10^{-3} * (d_1^2 - d_2^2), \text{ хв} \quad (2.4)$$

$$T_{\text{о.ср.}} = 0,037 * 10^{-3} * (28^2 - 26^2) = 0,03 \text{ хв}$$

Точіння:

$$T_{\text{о.ср.}} = 0,17 * 10^{-3} * d * l, \text{ хв} \quad (2.5)$$

$$T_{\text{о.ср.}} = 0,17 * 10^{-3} * 12 * 31 = 0,063 \text{ хв}$$

$$T_{\text{о.ср.}} = 0,17 * 10^{-3} * 20 * 20 = 0,068 \text{ хв}$$

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

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

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

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

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

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:

$$T_{шт.ср} = \frac{0,46}{0,5} = 0,92 \text{ хв}$$

Фрезування

$$T_{шт.ср} = \frac{0,31}{0,65} = 0,48 \text{ хв}$$

Середнє штучне час за операціями: $T_{шт.ср} = 0,49$

Визначимо коефіцієнт серійності:

$$K_c = \frac{T_B}{T_{шт.ср}} \quad (2.7)$$

$$K_c = \frac{4,87}{0,49} = 9,94$$

коефіцієнт серійності $K_c = 9,94$ відповідає серійному виробництву.

2.2. Вибір і обґрунтування способу отримання заготовок

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

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

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

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 фрезерний верстат моделі 676П.

Інструментальний широкоуніверсальний фрезерний верстат підвищеної точності 676П призначений для горизонтального фрезерування виробів циліндричними, дисковими, фасонними та іншими фрезами, так і

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Кількість подач шпindelної 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 17.07.2023р.

	1217,7, 1270,7, 1371,3, 1471,3, 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 7A412.

Верстати моделі 7A412 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:

Таблиця 2.6. Технічні характеристики верстата 7A412

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

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 17.07.2023р.

найбільший	100
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

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Величина зміщення повідця перпендикулярно до штриху, мм	30
Сила притиску повідця до заготівлі, кгс	1,5-29,5
Сумарна встановлена потужність, кВт	3,55
Габаритні розміри, мм	2800x1200x1290
Маса, кг	1250

Для програмно-комбінованих операцій вибираємо верстат моделі DS Solution
PUMA TL LYNX210

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

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:

Таблиця 2.9. Технічні характеристики верстата

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

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.

$$S_o = S_{o_T} * K_{S_{\Pi}} * K_{S_{И}} * K_{S_{Ж}} * K_{S_M} \quad (2.8)$$

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;

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

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

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

$$V = V_T * K_{v_{И}} * K_{v_{\Phi}} * K_{v_{\Pi}} * K_{v_0}, \text{ м/хв} \quad (2.9)$$

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 коркою);

$K_{v_0} = 1,0$ 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.

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

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.

$$K_p = K_{Mp} * K_{fp} * K_{gp} * K_{lp} * K_{rp} \quad (2.13)$$

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

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

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:

$$S_0 = 0,4 * 0,9 * 0,65 * 0,62 * 1,07 = 0,16 \text{ мм/об}$$

За паспортними даними верстата приймаємо подачу рівну $S_0=0,16$

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

За встановленої швидкості різання визначаємо частоту обертання шпинделя верстата.

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

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

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

Основне технологічне час.

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

$$T_0 = \frac{10}{0,16 * 5100} = 0,012$$

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.

$$K_p = K_{Mp} * K_{fp} * K_{gp} * K_{lp} * K_{rp} \quad (2.13)$$

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

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

Потужність різання.

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

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

Точити канавку $\varnothing 9,8$. 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;

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

$$K_1 = 0,8$$

$$K_2 = 1,55$$

$$K_3 = 1$$

Підставивши значення в формулу, отримаємо

$$V = 170 * 0,8 * 1,55 * 1 = 210,8 \text{ м/с}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою 2.10

$$n = \frac{1000 * 210,8}{3,14 * 9,8} = 6850 \text{ об/хв}$$

Коригуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата $n=6850$ об/хв

Визначаємо потужність, затрачену на різання

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z * V_d}{1020 * 60}$$

Визначаємо силу різання P_z

$$P_z = P_{z.\text{табл}} * K_1 * K_2 \quad (2.17)$$

где $P_{z.\text{табл}}$ – табличное значение силы резания;

$$P_{z.\text{табл}} = 135 \text{ Н}$$

$$K_1 = 0,8 \quad K_2 = 1$$

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

ці		t, мм	об	ня V,	з, п,	z, H	о, хв	ння,
----	--	-------	----	-------	-------	------	-------	------

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

	Точити Ø19, l=33	Чернова	6	0,25	191	4420	211,3	1,9	5,6	
		Чистовая	3	0,27	191	4420	211,3	0,46	7,8	
	Точити Ø20, l=17	Чернова	5	0,4	323	5331	180	1,26	7,5	
		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 17.07.2023р.

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 виробник ISCAR

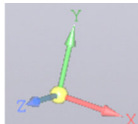
Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

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

2.9 Автоматизований процес виготовлення деталі "Вал" на токарно-фрезерному верстаті з ЧПУ

О-
М
т
ІХ
Ж

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.



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 2019:

- 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;

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

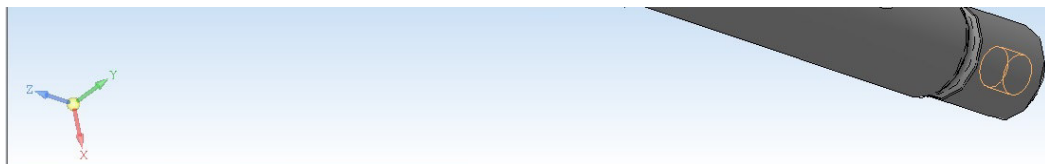


Рис.4.2 Тривимірна модель деталі "Вал" в SolidWorks

- Моделі заготовки була обрана зі стандартних елементів програми Feature Cam 2019 року, параметри якої були прораховані в технологічному процесі виготовлення деталі.

2.11 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 2019 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 постпроцесорів.

Проводимо токарних операцію (точіння заготовки з обох сторін). Як пристосування використовуємо обертається центр і патрон. Це пристосування дає можливість вести обробку заготовки без перевстановлення, що в свою

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Рис. 4.3 Імпорт моделі вала в програму Feature CAM 2014

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Рис.4.6 Загальний вигляд обробки з інструментальної головкою

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Рис. 4.9 Точіння канавок з ліва

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Рис. 4.12 Фрезерування шпоночного пазу

2.12 Генерування керуючої програми для верстата з ЧПУ

Після повної обробки в якості результату отримуємо не тільки графічне

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

```
N250 G94 G1 X0 Y0 C=DC(0) B0 F3000. M0
N260
N270 G94 X-120.996 Y-81.702 Z483. B0 C=DC(0)
N280 X-120.996 Y-81.702 Z478. B0 C=DC(0)
N290 X-120.996 Y-81.702 Z438.699 B0 C=DC(0) F30.
N300 X-132.449 Y-79.1 Z434.977 B0 C=DC(0) F300.
N310 X-131.778 Y-79.396 Z435.196 B0 C=DC(0)
.
.
.
.
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.

3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Проектування верстатного пристосування

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

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 з ЧПК. Розміри робочої поверхні стола 200 × 700 мм. На столі верстата є 3 Т-подібних пазів розмірами: середній паз 18Н8 для базування верстатного пристосування; 2 крайніх пазів, 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, для створення подвійний направляючої бази. Закріплення деталі проводиться прихватом системи УРП, тип 6, 7021- 0386 - 5. Зажим деталі механізований за допомогою стандартної пневмокамери - 100мм. Призми - 28 встановлених на ко рпусі пристосування - 1, який має знизу дві стандартні шпонки 18x11, довжиною 30 мм, для створення направляючої технологічної бази.

3.2. Розрахунок точності верстатного пристосування

Проектована верстатне пристосування при розточування патрубків 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 ΔT - 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.

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

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;

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

оазування 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 проєктованої 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 прагнучи 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.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

3. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

Оптимальним управлінням вважатимемо такий вплив на процес різання,

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

оптимальному рівні необхідно безупинно визначати нові оптимальні величини керуючих впливів та діяти ними на процес різання. Таким чином, оптимальне управління має бути перманентним, враховувати змінні умови різання та виконуватися автоматично. Для задоволення таким вимогам найбільше підходять САУ, які керують подачею, швидкістю різання, а іноді і глибиною різання [4, 7, 10].

3.1 Створення структури оптимального управління

Основні труднощі реалізації оптимального управління за допомогою замкнутої системи автоматизованого управління (САУ) обумовлені принциповою неможливістю створення вимірювального приладу продуктивності або собівартості, щоб застосовувати його як датчик зворотного зв'язку. Тому оптимально керувати процесом різання можна тільки

на основі оцінки допоміжних параметрів, пов'язаних з необхідним критерієм оптимальності відповідної апріорної математичної моделі

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Рисунок 3.1 – Структура САУ оптимального управління

Первинна інформація про хід процесу різання, крім констант, які вводяться раніше, виходить з модуля розрахунку поточної глибини різання, який пов'язаний із програмою управління формоутворюючими рухами. Далі, відповідно до оптимізаційної математичної моделі процесу різання визначаються оптимальні величини керуючих впливів (наприклад, подачі та швидкості різання). Розраховані таким чином величини надходять на модуль програмного управління, який виробляє команди відповідних приводів верстата.

Таким чином, основною такою САУ оптимізації процесу різання є його оптимізаційна математична модель, яка пов'язує критерій оптимізації з керуючими впливами-подачі та швидкістю різання. В результаті вирішення задачі оптимізації знаходять керуючий вплив, який забезпечує максимум

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

глибиною різання, що дорівнює припуску на обробку (ідеальний випадок), режим різання буде оптимальним при такому поєднанні подачі та швидкості різання, коли основний технологічний час буде мінімальним. Таке оптимальне рішення знаходять, відшукуючи такі невід'ємні значення керуючих впливів (подачі S і частоти обертання n шпинделя) при задоволенні всім обмеженням, які доставляють мінімум критерію оптимальності-технологічного часу t_0 . Таким чином, для випадку поздовжнього точіння, оптимізаційна математична модель може бути виражена наступною системою рівнянь і нерівностей. Зв'язок між управліннями S і n та періодом T стійкості інструменту, які визначають його ріжучу здатність, отримують за відомою з теорії різання залежності:

$$v = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{C_v k_v}{T^m H^{x_v} S^{y_v}}$$

звідки

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

відомими [4, 7, 12] залежностями для допустимої швидкості різання:

$$v = \frac{C_\varphi}{\varphi_{ін}}, \quad v_1 = \frac{C_{\varphi 1}}{\varphi_{ін 1}}$$

Такі залежності входять до математичної моделі процесу різання, а їх вплив на обмеження (3.1) виконується за рахунок коефіцієнта k_v , величина якого розраховується за конкретними умовами обробки. Наступне обмеження-за потужністю різання N_p , кВт:

$$N_p = \frac{P_z \pi D n}{1000 \cdot 6 \cdot 10^4} = \frac{C_p h^{x_p} S^{y_p} k_p \pi D n}{6 \cdot 10^7} \leq N_{cm} \eta,$$

звідки

$$n S^{y_p} \leq \frac{1,91 \cdot 10^7 N_{cm} \eta}{C_p h^{x_p} k_p D},$$

3.2

де N_{cm} – ефективна потужність верстата в кВт;

η – коефіцієнт корисної дії;

C_p, k_p, x_p, y_p – коефіцієнти та показники емпіричної залежності сили різання від режиму та умов обробки.

Подача, що допускається необхідною шорсткістю обробки, може бути визначена за детермінованою складовою профілю шорсткості обробленої поверхні, яка, у свою чергу, визначається за геометричними залежностями формування мікронерівностей поверхневого шару деталі для кожного з чотирьох можливих профілю [12, 13, 15].

3.2 Блок-схема алгоритма досліджень

Для вирішення такого завдання доцільно використати чисельний метод, який побудований за ітеративним принципом наближення із заданим кроком до вирішення відповідно до алгоритму, блок-схема якого представлена на малюнку 3.2.

Такі випадки визначаються співвідношеннями між геометричними параметрами вершини різця у плані (головний φ , допоміжний φ_1 кути в плані і радіус r округлення вершини різця в плані) і подачею S навпаки заготовки.

При $\varphi < \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 < \arcsin(S/2r)$ виступ профілю формується перетином головного і допоміжного різальних лез інструменту, при $\varphi > \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 < \arcsin(S/2r)$ виступ профілю формується перетином допоміжного різального леза і радіусною частиною вершини інструменту, при $\varphi < \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 > \arcsin(S/2r)$ виступ профілю формується перетином головного різального леза і радіусної частини вершини інструменту, а при $\varphi < \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 < \arcsin(S/2r)$ виступ профілю формується перетином винятково радіусних частин вершин інструменту. Таким чином, в умову визначення допустимої (по шорсткості) подачі входить сама подача, що унеможливорює отримання відповідної аналітичної залежності [4].

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму

Наступне обмеження, яке накладається на поздовжню подачу, вибирається з умов міцності жорсткості ТОС. Наприклад, подача за максимальною силою, яку забезпечує привід подачі верстата, може бути розрахована за наступною залежністю:

$$[S_p]_{\text{доп}} = \left(\frac{2P_n}{C_p h^{Xp} k_p} \right)^{\frac{1}{Yp}}$$

Подача, що допускається, вибирається як найменша з подач, які розраховані за міцністю інструменту $[S_l]_{\text{доп}}$ або тяговою силою механізму подачі верстата $[S_p]_{\text{доп}}$:

$$S \leq \min\{ [S_p]_{\text{доп}}, [S_l]_{\text{доп}} \}. \quad (3.3)$$

Конструктивні обмеження які визначаються за можливостями металорізального верстата:

діапазон поздовжніх подач:

$$S_{\min} \leq S \leq S_{\max}, \quad (3.4)$$

діапазон частот обертання шпинделя:

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

інтерфейс представлений на малюнку 3.2. Інструкції та пояснення для роботи з програмою містяться в самій програмі та з'являються на екрані монітора при натисканні кнопки "Help".

Після активації програми, введення даних відповідно до варіанта та натискання кнопки "Застосувати дані" у графічному вікні інтерфейсу з'являються всі розраховані обмеження, що утворюють область D допустимих значень частоти обертання шпинделя та подачі, яка відповідає представленим на інтерфейсі вихідним даним верстата і процесу різання. На малюнку 3.2 ця область утворена перетином наступних обмежень: 1 – мінімальна подача, 3 – мінімальна частота обертання шпинделя, 5 – мінімальна подача по шорсткості поверхні, 7 – обмеження за стійкістю інструменту, 8 – обмеження за потужністю верстата. Лінія 9 відображає функцію оптимізації за максимальною продуктивністю і задовольняє залежності (3.6).

Лінія 9 з'являється у графічному вікні інтерфейсу та пересувається в ньому за перехрестям мишки. Для визначення оптимальних координат області допустимих значень необхідно перевести мишку так, щоб лінія максимальної продуктивності була дотичною до найбільш віддаленої від початку координат

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

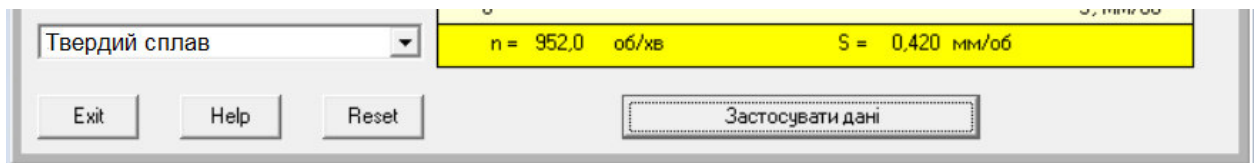


Рисунок 3.2 Інтерфейс прикладної програми оптимізації режимів різання

Після натискання лівої клавіші мишки, при утриманні її перехрестя у вершині області допустимих значень, на інтерфейсі з'являються оптимальні величини режиму різання. Визначається такі складові режиму різання та його головні характеристики: частота обертання шпинделя (952 об/хв), подача на оборот (0,42 мм/об), швидкість різання (149,5 м/хв), поздовжня подача (400 мм/хв), потужність різання (7,54 кВт), що становить сили P_z різання (3023,7 Н).

Звертаємо увагу на те, що відповідно до прийнятого критерію оптимальності - максимальна продуктивність - його величину зручно оцінювати безпосередньо за величиною поздовжньої подачі.

В якості прикладу виконання роботи нижче представлено перебіг досліджень для вихідних даних, які вказані у вікнах головного інтерфейсу програми на малюнку 3.2.

Для виконання експериментальних досліджень за першими трьома

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Рис. 3.3 Результати визначення оптимального режиму різання:

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Тут прийняті ті самі позначення, що і на малюнку 3.2: лінія 1 і 2 - обмеження по мінімальній і максимальній подачі, лінія 3 і 4 - обмеження по мінімальній і максимальній частоті обертання шпинделя, лінія 5 - обмеження подачі по заданій шорсткості, лінія 6 - обмеження подачі за допустимою силою механізму подачі приводу верстата, лінія 7 - обмеження за стійкістю інструменту, лінія 8 - обмеження потужності верстата. Лінія 9 відображає оцінну функцію оптимізації максимальної продуктивності. Видно, що зі зміною глибини різання вершина А області допустимих значень, яка відповідає оптимальному (за продуктивністю) режиму різання, утворюється перетином

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.



Рис. 3.4 Експериментальні залежності оптимального режиму різання від глибини різання

Аналіз отриманих експериментальних результатів (рис. 3.4) свідчить, що закон оптимального управління має дві зони:

1) оптимальна обробка до глибини різання 3 мм відбувається з постійною подачею на заготовлю, проте частота обертання зменшується майже за лінійною залежністю;

2) оптимальна обробка з глибиною, яка перевищує 3 мм, виконується з постійною частотою обертання заготовки, проте поздовжня подача знижується також майже за лінійною залежністю.

При проведенні експериментів можна помітити, що оптимальна точка фазової площини n - S утворюється в основному трьома обмеженнями: стійкістю, потужністю і шорсткістю. До глибини різання 3 мм основним обмеженням, яке накладається на подачу, є обмеження необхідної шорсткості обробленої поверхні. При збільшенні глибини різання набуває чинності четверте обмеження-за силою подачі верстата.

Подібні числові значення розрахунків режимів різання були отримані і при класичному аналітичному методі корегування стосовно геометрії ріжучого інструменту, матеріалу і параметрів деталі [12, 13, 16], відносна похибка розрахунків не перевищувала 6-8%. Це говорить про те, що модель

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Точіння зовнішнє (чистове)	0.85	0.162	267
Розточування (чорнове)	2.25	0.281	188
Розточування (чистове)	0.25	0.143	241
Точіння внутрішньої канавки	1.15	0.182	215
Відрізка деталі	-	0.221	194

Примітка. Значення режимів різання при фрезеруванні, свердлінні та формоутворенні нарізі не оптимізувались, а обирались як середьозважене з діапазону режимів рекомендованих виробником та врахуванням паспортних діапазонів режиму обробки верстата з ЧПК

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

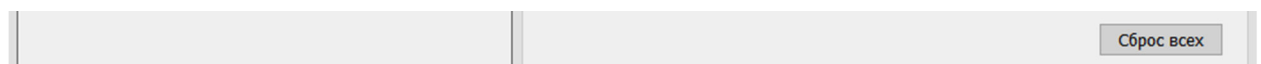


Рисунок 3.5 – Інтерфейс програми FeatureCAM з оптимізованими режимами

Оптимізовані режимі різання також відображаються у карті технологічних налаштувань «ДОДАТОК Б» та керуючій програмі (NC-файл) для верстата з ЧПК «ДОДАТОК В».

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовані конструктивні особливості деталі, матеріалу та надана загальна характеристика об'єкта дослідження, виконаний якісний аналіз технологічності конструкції деталі.

2. Якісно виконана тривимірна модель у CAD-системі Autodesk PowerShape за технічними вимогами кресленика і технічного завдання. Модель використовувалась як цифровий еталон у подальшому складанні технології автоматизованої обробки.

3. Складена оптимальна технологія механічної обробки деталі. Застосований прогресивний ріжучий інструмент стандарту ISO, оснащення для сучасного багатоцільового верстата з ЧПК. Програмна реалізація і комп'ютерний експеримент з розрахунку автоматизованої технології механічної обробки реалізований у програмі Autodesk FeatureCAM.

4. Одержані чисельні результати досліджень для науково-обґрунтованого підходу у розв'язанні технічної задачі токарної обробки деталей з чавуну на багатовісних обробних центрах, що містять сукупність скорегованих методик та алгоритмів для прогнозування їхньої оброблюваності із забезпеченням надійності різального інструменту з твердих сплавів. Отримані результати порівнювалися з відомими роботами, пов'язаними з дослідженнями процесів механічного оброблення різних марок сталей, сплавів та чавунів, оцінкою надійності ріжучих інструментів, точності та шорсткості обробленої поверхні, результатами вимірювань силових параметрів різання. Максимальна відносна похибка розрахунків не перевищувала 5-8%.

5. Обґрунтований і встановлений повний системний зв'язок параметрів оброблення з властивостями оброблюваного матеріалу, геометрією інструменту, інструментального матеріалу і конструкторсько-технологічних чинників деталі на розрахунок оптимізованої технології токарної обробки.

6. Виконана методика значно спрощує громісткі аналітичні розрахунки за класичними методами з купою виправних коефіцієнтів та враховує сучасну

геометрію інструментів показники і режимів різання стосовно конкретної деталі та більш того, може бути адаптована до інших типів деталей типу тіл обертів різних галузей виробництва.

7. Надані практичні рекомендації щодо оптимального використання CAD-CAM систем, коригування результатів технології та режимних параметрів для отримання оптимальних результатів на стадії підготовки виробництва.

8. Виконане дослідження дозволяє моделювати абсолютно всі токарні роботи за рахунок застосування комп'ютерних програм в умовах дефіциту виробництва натурних експериментів та дистанційного навчання; індивіалізувати процес навчання та підвищити ефективність самостійної роботи учня або студента; надає змогу проводити дослідження в таких областях змінення параметрів, які неможливо або небезпечно реалізувати на реальному коштовному обладнанні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 8833:2019. Національний стандарт України виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=82147.
2. ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення. ДСТУ (Державний Стандарт України).
3. Технічне креслення. Розробка робочих креслеників деталей за креслеником загального виду [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О.Г.Гетьман, Н.В. Білицька, Г.В. Баскова. – Електронні текстові дані (1файл: 10,474Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 150 с.
4. Петраков Ю.В. Лабораторно-комп'ютерний практикум з теорії різання // Рекомендовано МОН України як навчальний посібник для вищих навчальних закладів (Лист МОН України №1.4/18-Г-212), Київ, Політехніка, 2006, 190с.
5. Гейчук, В. М. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor. Частина I [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Галузеве машинобудування» / В. М. Гейчук ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,39 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 394 с.
6. Технології формоутворення сучасних складнопрофільних деталей [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології виготовлення літальних апаратів», «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові дані (1 файл: 15,26 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 380 с.
7. David A. Stephenson, John S. Agapiou Metal Cutting Theory and Practice. Third Edition 2016 by Taylor & Francis Group, LLC 932p.
8. Найкращі рішення для обробки. Лійка необертальних інструментів. Токарна обробка. Обробка канавок. Різьбонарізання. Відрізкація. Метрична версія каталогу 2019. 08/2020 3395080. Member IMC Group ISCAR / www.iscar.com.ua.
9. Найкращі рішення для обробки. Фрезерування. Свердління. Інструментальна оснастка. Метрична версія каталогу 2020-2021. 10/2020 3395081. Member IMC Group ISCAR / www.iscar.ua
10. Петраков Ю.В., Мацківський О.С. Моделювання фрезерування кінцевими фрезами. Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування №1 (73). 2015.
11. Петраков Ю.В. Розвиток САМ-систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПК: Монографія. – Київ, Січкар, 2011. – 220 с.

12. Дубовой В.М. Моделювання та оптимізація системи: підручник / Дубовой В.М., Кветний Р.Н., Михальов О.І., Усова А.В. – Вінниця: ПП «ГД Едельвейс», 2017. – 804с.

13. Васильченко Я.В. Математичне моделювання процесів різання та різальних інструментів. Практикум. ДДМА, Краматорськ, 2019. – 249с

14. Zhuravel, O . Yu , Derbaba, V.A., Protsiv, V.V., & Patsera, S.T. (2019). Interrelation between Shearing Angles of External and Internal Friction During Chip Formation. Solid State Phenomena. Materials Properties and Technologies of Processing, (291), 193-203. - 2019. doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.291.193

15. 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. <http://znp.nmu.org.ua/index.php/en/archives/33-63en/358-63en11>.

16. Щербина Є.Ю. Критерії стійкості ріжучого інструменту для висошвидкісної обробки / Є.Ю. Щербина, В.А. Дербабя, В.А. Козечко // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2022 – № 67 – С.77-95 <https://doi.org/10.33271/crpnmu/67.077> .