

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний факультет
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувача вищої освіти Чубенко Олександра Івановича
академічної групи 131М-23Н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка
за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»
на тему: Дослідження методами моделювання у САМ-системі
технологічного процесу механічної обробки деталі «Втулка»

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від **28.04.25 №317-с**

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Дербаба В.А.			
розділів:				
Аналітичний	Дербаба В.А.			
Технологічний	Дербаба В.А.			
Спеціальний	Дербаба В.А.			
Науково- дослідницький	Дербаба В.А.			
Рецензент	Кривда В.В.			
Нормоконтролер	Рубан В.М.			

Дніпро - 2025

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

технологій машинобудування та матеріалознавства
(повна назва)

_____ В.А. Дербоба
(підпис) (ініціали та прізвище)

«_____» _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

здобувачу вищої освіти Чубенко Олександр Івановичу

академічної групи 131М-23Н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

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

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 №317-с

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень - процес механічної обробки деталі на верстаті з ЧПК.

Предмет досліджень - швидкість виконання поставлених завдань в середовищі САМ-програми FeatureCAM, функціональні можливості системи, база інструментів та оснащення, складність розрахунку траєкторій і повнота інформації.

Мета – ефективність використання інформаційних технологій на прикладі автоматизованої механічної обробки корпусної деталі Втулка на верстаті з ЧПК.

Вихідні дані для проведення роботи - 1) аналіз джерел інформації з питань режимних параметрів механічної обробки; 2) аналіз застосування інтерфейсу САМ-системи при виконанні конструкторських та технологічних задач; 3) визначення впливу режимів різання та стратегій токарної обробки на продуктивність і оптимальність керуючої програми для верстата з ЧПК.

3 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Новизна - удосконалено підхід до оцінки стратегій (траєкторій) токарно-фрезерної обробки деталі в САМ-системі Autodesk FeatureCAM та створення методики залежності основного часу обробки від режимних параметрів обробки заданих матеріалів заготовки та інструментальних матеріалів циліндричних фрез.

Практична цінність - оптимізація стратегії обробки в САМ-програмі на прикладі токарної деталі, скорочення (зменшення) часу на підготовку конструкторсько-технологічної документації, розрахунок оптимізованої керуючої програми для обладнання і скорочення часу механічної обробки на верстаті з ЧПК як наслідок.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Створити практичні рекомендації щодо застосування альтернативних технологічних методів виготовлення деталі типу Втулка за умов використання CAD-CAM систем.

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Аналітичний розділ	29.01.2025-25.02.2025
Технологічний розділ	26.02.2025-24.03.2025
Спеціальний розділ	25.03.2025-21.04.2025
Науково-дослідницький розділ	22.04.2025-05.05.2025

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

В.А. Дербоба

_____ (ініціали та прізвище)

Дата видачі 15 січня 2025 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії 5 травня 2025 р.

Прийнято до виконання _____

О.І. Чубенко _____

ЗМІСТ

Вступ

Аналітичний розділ

- 1.1 Огляд стану питання і постановка задачі
- 1.2 Аналіз області застосування титанових сплавів по різних галузях промисловості
- 1.3 Переваги і недоліки титанових сплавів в порівнянні з іншими матеріалами
- 1.4 Особливості механічної обробки титанових сплавів

Технологічний розділ

- 2.1 Моделювання тривимірної моделі деталі «Втулка» в CAD / CAM-системі
- 2.2 Обґрунтування вибору деталі «Втулка» для моделювання процесу точіння
- 2.3 Проектування деталі «Втулка»
- 2.4 Моделювання процесу точіння деталі «Втулка»

Спеціальний розділ

- 3.1 Оптимізація параметрів механічної обробки при точінні титанових сплавів
- 3.2 Визначення впливу параметрів операції механічної обробки титанових сплавів на її ефективність
- 3.3 Техніка безпеки при роботі з титановими сплавами
- 3.4 Пожежна безпека титанових сплавів
- 3.5 Екологія і обробка титанових сплавів

Науково-дослідний розділ

- 4.1 Аналіз робіт по оптимізації процесів різання титанових сплавів
- 4.2 Висновки, постановка мети і завдань дослідження.
- 4.3 Математичне моделювання процесу точіння титанових сплавів
- 4.4 Визначення параметрів механічної обробки титанових сплавів
- 4.5 Розробка математичної моделі процесу точіння титанових сплавів
- 4.6 Вибір методу математичного програмування процесу точіння титанових сплавів

Висновки та рекомендації

Література

Додатки

ВСТУП

Титанові сплави внаслідок своїх унікальних фізико-механічних і хімічних властивостей знайшли досить широке поширення в різних галузях машинобудування. За останні роки область їх використання крім авіакосмічної техніки стала охоплювати ракетобудування і суднобудування, хімічну, нафтову і інші галузі промисловості. Титанові сплави, як правило, використовуються для виготовлення особливо відповідальних деталей, до якості поверхні яких пред'являються дуже високі вимоги.

Застосування титанових сплавів дозволяє значно поліпшити льотні характеристики апаратів. Основними перевагами титанових сплавів в порівнянні з іншими конструкційними матеріалами є висока питома міцність і хороша корозійна стійкість в більшості агресивних середовищ. Зворотним боком високих значень фізико-механічних властивостей є низька різанням даних матеріалів.

Основною причиною поганої оброблюваності титанових сплавів є виникнення великих сил і високих температур в зоні різання. Виробництво авіаційних деталей характеризується великими обсягами знімається припуску в поєднанні з низькою швидкістю різання даних матеріалів це призводить до значних матеріальних витрат на механічну обробку.

Постійне прагнення поліпшити техніко-економічні показники виробів машинобудування за рахунок застосування деталей, вузлів з нових матеріалів з високими характеристиками міцності (жароміцністю, зносостійкістю і ін.), Як правило, призводить до зниження продуктивності при їх виготовленні. Підвищення продуктивності за рахунок збільшення режимів механічної обробки на металорізальних верстатах обмежується низькою стійкістю ріжучого інструменту і погіршенням якості поверхневого шару деталей.

У першому розділі наведені загальні відомості про титана і титанових сплавах і їх класифікація. Виконано аналіз сфери застосування титанових сплавів з різних галузей промисловості. Представлені основні переваги титанових сплавів в порівнянні з іншими матеріалами. Докладно описані причини низької оброблюваності титанових сплавів. Проаналізовано роботи, що стосуються оптимізації процесів різання титанових сплавів. Зроблено висновок, що існуючі технології обробки титанових сплавів не містять методик призначення оптимальних режимів різання. Сформульована мета і завдання роботи.

У другому розділі визначено параметри механічної обробки, розроблена математична модель оптимізації токарної обробки, визначено вплив параметрів операції механічної обробки титанових сплавів на її ефективність.

У третьому розділі наведено моделювання токарної обробки деталі «Втулка» в CAD / CAM-системі. Для проектування деталі застосовується програмний комплекс Autodesk, а для моделювання процесу точіння деталі застосовується програмний комплекс FeatureCAM.

У четвертому розділі приведена методика оптимізації режимних параметрів.

Аналітичний розділ

1.1 Огляд стану питання і постановка задачі

Загальні відомості про титана і титанових сплавах і їх класифікація

Титан (Ti, Titanium) - хімічний елемент з порядковим номером 22, атомна вага 47,88, легкий сріблясто-білий метал. щільність 4,51 г/см³, $T_{пл}=1668^{\circ}\text{C}$, $T_{кип}=3260^{\circ}\text{C}$. Для технічного титану марок ВТ1-00 і ВТ1-0 щільність приблизно 4,32 г / см³. Титан та титанові сплави поєднують легкість, міцність, високу корозійну стійкість, низький коефіцієнт теплового розширення, можливість роботи в широкому діапазоні температур (від - 290^oC до 600^oC). Титан має низьку теплопровідність, яка в 13 разів менше теплопровідності алюмінію і в 4 рази - заліза. Коефіцієнт термічного розширення при кімнатній температурі порівняно малий, з підвищенням температури він зростає. При нагріванні вище 500^oC стає дуже активним елементом. Він або розчиняє майже всі дотичні і ним речовини, або утворює з ними хімічні сполуки.

Відомі дві аллотропические модифікації титану. Низькотемпературна модифікація, яка існує до 882,5^oC і високотемпературна модифікація, стійка від 882,5^oC до температури плавлення. Поліморфний перетворення титану при нагріванні і охолодженні відбувається при 882,5^oC. Низькотемпературна модифікація має гексагональну щільноупакована кристалічну решітку (ГПУ). Високотемпературна модифікація титану має об'ємно-центровану кубічну кристалічну решітку (ОЦК).

В даний час про фазовий склад титанових сплавів судять по умовному коефіцієнту K_{β} - стабілізації, що є відношенням змісту стабілізатора в розглянутому сплаві до його змісту в подвійному сплаві критичного складу СКР (тобто до мінімального вмісту стабілізуючих елементів в сплаві, який може гартуватися на 100 % -ву фазу).

Коефіцієнт K_{β} стабілізації - зручна база для класифікації титанових сплавів. При цій системі класифікації промислові сплави титану можна умовно розділити на шість груп.

Відповідно до загальноприйнятої системою класифікації за рівнем легування і фазовим складом сплави розділені на 6 наступних груп:

- 1) технічний титан;
- 2) α - сплави (що не містять β - фази);
- 3) Псевдо сплави (з кількістю фази не більше 5%), коефіцієнт K_{β} - стабілізації не більше 0,25;
- 4) сплави (з більш значною кількістю фази), коефіцієнт K_{β} - стабілізації 0,3-0,9;
- 5) псевдо сплави (здатні загартуватися на 100% фази), коефіцієнт K_{β} - стабілізації 1,4-2,4;
- 6) сплави (що не містять фази в рівноважному стані), коефіцієнт K_{β} - стабілізації не менше 2,5.

Для більшості сплавів марка починається з букв («ВТ», «ВІД», «АТ», «ПТ»); перша означає назва організації - розробника сплаву, друга - слово "титан", далі порядковий номер сплаву. Головною галуззю, широко застосовує титанові сплави, є авіаційна промисловість, розробка сплавів для якої ведеться у Всесоюзному інституті авіаційних матеріалів (ВІАМ). Сплави, що розробляються в ВІАМ, маркуються двома великими літерами ВТ («ВІАМовський титан») з додаванням до буквеного індексу порядкового номера (за хронологією створення сплаву). Два перших порядкових номери присвоєні двом маркам технічно чистого титану: ВТ1-00 (найбільш низькоміцний, але пластичний) і ВТ1-0. Далі слідує ціла серія найбільш широко застосовуваних сплавів: ВТ3-1, ВТ6, ВТ9, ВТ14, ВТ16 і т. П. Ці сплави розроблялися головним чином для літакобудування і ракетної техніки, де основним параметром була міцність до 350-500°C і в деяких випадках до 700°C. Деякі сплави авіаційного призначення мають маркування з буквами ВІД («Досвідчений титан»), хоча сплави давно стали серійними: ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4-3. Це листові сплави широкого діапазону міцності (= 700-1100 МПа) застосовуються для обшивки фюзеляжу літаків і корпусу ракет (так само, як і сплави ВТ6, ВТ14). Останнім часом розроблені аналоги цих сплавів (по застосуванню): ОТ4-1, ОТ4-0, ОТ4-2У (системи Ti-Al-V з добавкою 0,9% Fe).

Друга група сплавів маркується літерами АТ («Академічний титан») і розроблена в Інституті металургії (ІМЕТ). Це економно леговані сплави (алюмінієм і комплексом малих добавок (Fe, Si, Cr і V). Сплави відрізняються за змістом алюмінію: цифра після літерного позначення показує середній вміст алюмінію. Найбільшого поширення набули сплави АТ3 і АТ6, які випускаються головним чином в тонких аркушах. Характерна їх особливість - широкий діапазон міцності (в залежності від вмісту алюмінію). Ці сплави рекомендовані для різноманітного застосування.

Третя група сплавів маркується двома буквами ПТ з порядковим номером («Прометеевський титан» - творець ЦНДІ КМ «Прометей»). Найбільш поширені сплави ПТ1М, ПТ3В і ПТ7М. Ці сплави конструкційного "призначення відрізняються широким діапазоном міцності (=300-800 МПа), хорошою пластичністю і ударною в'язкістю, гарну зварюваність (не вимагають відпалу після зварювання). Сплав ПТ1М - технічно чистий титан, зміцнений 0,5% Al. Сплави цієї групи рекомендуються для широкого конструкційного застосування в машинобудуванні (зварені конструкції) при 20°C і підвищених (до 350°C) температурах. Випускаються у вигляді листів різної товщини, поковок (ПТ3В) і труб (ПТ1М, ПТ7М).

Промисловістю поставляються два корозійностійких сплаву для хімічної промисловості: 4200 і 4201 і деякі чисто відомчі сплави вузького застосування, маркуються, наприклад, буквами ТС (сплав ТС5, застосовуваний для лопаток останніх ступенів парових турбін) [4]. Класифікація титанових сплавів наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Номінальний склад промислових титанових сплавів (по типу структури в відпаленого стані)

Тип сплаву	K_{β}	Марка сплаву	Средній хімічний склад
α – сплави	–	BT1–00	Нелегований титан
		BT1–0	
		ПТ1М	
		ПТ7М	2% Al + 2% Zr
		BT5	5% Al
		BT5–1	5% Al+ 2,5% Sn
		4200	До 0,5% Pa
Псевдо α – сплави	до 0,25	ПТ3В	4,5% Al + 1,7% V
		OT4–0	0,8% Al+ 0,8% Mn
		OT4–1	1,5% Al + 1,0% Mn
		OT4	3,5% Al + 1,5% Mn
		BT4	5,0% Al + 1,5% Mn
		OT4–2	6,0% Al + 1,5% Mn
		AT2	2,0% Al + 1,0% Mo
		AT3	3,0% Al + 1,5% (Fe, Cr, Si, B)
		AT4	4,0% Al + 1,5% (Fe, Cr, Si, B)
		AT6	6,0% Al + 1,5% (Fe, Cr, Si, B)
		AT8	7,0% Al + 1,5% (Fe, Cr, Si, B)
		OT4–0У	1,0% Al + 1,0% V+ до 0,9% Fe
		OT4–1У	2,0% Al + 2,0% V + до 0,9% Fe
		OT4–У	4,0% Al + 2,5% V+ до 0,9% Fe
		BT4–У	5,0% Al + 2,5% V+ до 0,9% Fe
		OT4–2У	6,0% Al + 2,5% V + до 0,9% Fe
		BT20	6,0% Al+2,5% Zr+1,0% Mo + 1,0% V
		TC5	5,0% Al+ 2,0% Zr+3,0% Sn +2,0% V
BT25	6,8% Al+2,0% Mo+1,7% Zr +2,0% Sn + 0,7% W + 0,2% Si		
$(\alpha + \beta)$ – сплави мартенситног о типу	0,3–0,9	BT6C	5,0% Al + 4,0 V
		BT6	6,0% Al+ 4,5% V
		BT3–1	6,0% Al+2,5% Mo+2,0% Cr+ 0,3% Si + 0,5% Fe
		BT8	6,5% Al + 3,5% Mo + 0,3% Si
		BT9	6,5% Al+ 3,3% Mo+1,5% Zr +0,25% Si
		BT14	4,5% Al+3,0% Mo + 1,0% V
		BT16	2,5% Al + 5,0% Mo + 5,0% V
		BT23	5,5% Al+ 2,0% Mo+4,5% V +1,0% Cr + 0,7% Fe
$(\alpha + \beta)$ –	1,0–1,4	BT22	5,0% Al+5,0% Mo+5,0% V +1,0% Cr

сплави			+ 1,0% Fe
		BT30	11,0% Mo+6,0% V+4,0% Zr
β – сплави	2,5–3,0	4201	33,0% Mo
Псевдо β – сплави	1,6–2,4	BT15	3,0% Al+7,0% Mo + 11,0% Cr
		TC6	3,0% Al+ 5,0% Mo+6,0% V +11,0% Cr
		BT32	2,5% Al+ 8,5% Mo+8,5% V +1,2% Fe + 1,2%" Cr

1.2 Аналіз області застосування титанових сплавів з різних галузей промисловості

В даний час титан - один з найважливіших металевих конструкційних матеріалів. Для цього титану протягом 200 років довелося пройти шлях від визнання його непридатним в конструкційних цілях, до загального поклоніння, як перед одним з найперспективніших і вічних металів. Лише три технічно важливих металу - алюміній, залізо і магній - поширені в природі більше, ніж титан. Кількість титану в земній корі в декілька разів перевищує запаси міді, цинку, свинцю, золота, срібла, платини, хрому, вольфраму, ртуті, молібдену, вісмуту, сурми, нікелю та олова, разом узятих.

Однак промисловий спосіб його добування був розроблений лише в 40-х роках ХХ століття. Завдяки прогресу в галузі літакобудування та ракетобудування виробництво титану і його сплавів інтенсивно розвивалося. Це пояснюється поєднанням таких цінних властивостей титану, як мала щільність, висока міцність, корозійна стійкість, технологічність при обробці тиском і зварюваність, хладостойкість, немагнитність і ряд інших цінних фізико-механічних характеристик.

Напівфабрикати з титану і титанових сплавів виробляються у всіляких формах і видах: титанові злитки, титанові сляби, заготовки, титанові листи та титанові плити, титанові стрічки і смуги, титанові прутки (або титанові кола), титанова проволока, титанові труби.

Області застосування титанових сплавів:

- 1) Авіаційна промисловість
- 2) Автомобілебудування
- 3) Хімічна промисловість
- 4) Кольорова металургія
- 5) Медицина
- 6) Спорт
- 7) Споживча електроніка
- 8) Архітектура
- 9) Ювелірні вироби

Авіаційна промисловість. Авіаційна промисловість залишається першим і основним споживачем титану. Завдяки застосуванню титанових сплавів в нових транспортних і пасажирських літаках їх використання літакобудівними і

моторобудівний підприємствами залишається переважаючим. В авіаційній промисловості проведений великий комплекс робіт по створенню оптимальних умов при виробництві деталей і вузлів з титанових сплавів. Найбільш важливим підсумком цих досліджень можна вважати освоєння технології виготовлення високоресурсних силових конструкцій, що забезпечують високі циклічну міцність і тріщиностійкість. Широко впроваджені титанові сплави в виробництво посудин високого тиску для авіаційної і космічної техніки.

Вимоги до матеріалів для авіабудування:

- мала вага
- висока питома міцність
- жаропрочність
- опір втомним навантажень
- тріщиностійкість
- корозійна стійкість

У дозвукових літаках широко застосовувався алюміній. Авіатехніка надзвукових швидкостей зіткнулася з підвищеними температурами обшивки літального апарату, де алюміній не може бути використаний через низьку жароміцності. Потрібні були конструкційні матеріали, надійно працюють в складній комбінації силових і температурних полів при впливі агресивних середовищ, випромінювань і високого тиску. Цим вимогам відповідає титан і його сплави.

Сьогодні літаки стають ще більш титаномі. Це пов'язано з тим, що в нових авіалайнерах збільшується частка композиційних матеріалів, з якими алюміній активно взаємодіє і корозійні. Титан не схильний до таких процесів і збільшує ресурс комплектуючих виробів.

Три основні напрями використання титану в авіабудуванні:

1) для виготовлення виробів складної просторової форми:

- окантовки люків і дверей, де можливе скупчення вологи (використовується висока корозійна стійкість титану)

- обшивки, на які діє струмінь продуктів згорання двигуна, вогнеблокуючі протипожежні перегородки (використовується висока температура плавлення і хімічна інертність титану)

- тонкостінні трубопроводи повітряної системи (використовується мінімальний з усіх металів коефіцієнт термічного розширення титану)

- настил підлоги вантажної кабіни (використовується висока міцність і твердість)

2) для виготовлення відповідальних високонавантажених вузлів і агрегатів

- стійки шасі

- силові елементи (кронштейни) механізації крила

- гідроциліндри

3) Виготовлення частин двигуна.

З титанових сплавів в літаках виготовляють: елерони, панелі і поворотні вузли крил, стінки лонжеронів, панелі, кронштейни, керма, решітки клина, канали повітрязабірника, трубопроводи, шпангоути, підкрилки і закрилки,

гідросистеми, кріплення і ряд інших деталей. В авіаційній промисловості в основному використовуються сплави VT1-0, VT22, VT6, VT3-1, VT8, VT9, VT18Y, VT25, VT25Y.

Автомобілебудування. Високі експлуатаційні характеристики титану в сукупності з сучасними технологічними і виробничими досягненнями відкривають можливості для його використання в автомобілебудуванні. При розробці нових конструкцій деталей пріоритетним завданням є зниження маси деталей, що в більшій чи меншій мірі впливає на рух самого автомобіля. Циклічно рухомі частини, і вузли мають великі потенційні можливості скорочення витрати палива, перш за все за рахунок зменшення їх маси. Надійність деталей з титану була перевірена протягом декількох років на гоночних автомобілях і в ході широкого використання в авіакосмічній промисловості. З титану виготовляють клапани двигунів внутрішнього згорання, пружини і фіксатори клапанів, поршневі пальці, важелі, а також вихлопні системи, диски.

Хімічна промисловість. Приблизно 30% титану витрачається на виготовлення комунікацій з титану, які застосовуються в хімічній промисловості, використовується в хлорному виробництві. Технічний титан йде на виготовлення титанових ємностей, хімічні реакторів, трубопроводів, арматури, насосів та інших виробів, що працюють в агресивних середовищах, наприклад, в хімічному машинобудуванні.

Титан використовується для виготовлення труб для теплообмінної апаратури різного призначення, конденсаторів турбін, в якості елементів футеровки внутрішньої поверхні димових труб. Слід зазначити, що високі капітальні витрати компенсуються підвищенням довговічності, збільшенням надійності, зниженням витрат на обслуговування і ремонт. Титан має високу стійкість до точкової корозії, що є дуже великою перевагою саме для теплообмінних труб, які завдяки цьому можна застосувати з мінімальною товщиною стінки, достатньою лише для забезпечення механічної міцності, що забезпечує більш високу інтенсивність теплопередачі в теплообмінних апаратах. Сплави для хімічної індустрії - це VT1-0, VT1-00.

Будуються нові целюлозно-паперові комбінати і лісопромислові комплекси, переобладнуються існуючі. При виробництві паперу дуже гостро стоїть проблема корозійного захисту, і від її вирішення значною мірою залежить успішний розвиток галузі. Для отримання целюлози використовують надзвичайно агресивні речовини - в технологічних процесах варіння целюлози, отримання вручений кислоти, при відбілюванні целюлозної маси. Особливо агресивна двоокис хлору, якої відбілюють целюлозу. Метод відбілювання целюлози двоокисом хлору отримує, тому все більшого поширення, але стрімке руйнування обладнання при його застосуванні приносить значні збитки. Ось чому хіміки і гаманці звернули найсерйознішу увагу на стійкість титану в з'єднаннях хлору. Титанове обладнання широко впроваджується в целюлозно-паперову промисловість. Титан виявляється незамінним для гаманців, рятуючи їх, даючи значний техніко-економічний ефект. Саме як матеріал, стійкий в

двоокису хлору, титан був застосований вперше в невійськових галузях промисловості.

Кольорова металургія. За обсягом застосування титану кольорова металургія займає друге місце серед цивільних галузей промисловості. У гідрометалургії кольорових металів застосовується апаратура з титану. Він служить для покриття виробів із сталі. Використання титану дає в багатьох випадках великий техніко-економічний ефект не тільки завдяки підвищенню терміну служби устаткування, але і можливості інтенсифікації процесів (як, наприклад, в гідрометалургії нікелю). Найбільшого поширення титанове обладнання отримало на підприємствах кобальтово-нікелевої і титаново-магнієвої промисловості, а також у виробництві міді, цинку, свинцю, ртуті та інших металів.

При обробці кольорових металів використовують титанові травильні ванни, деталі очисних споруд, установок переробки розчину, ємності, що набагато підвищує термін служби обладнання. Допоміжне обладнання з титану використовують на деяких підприємствах чорної металургії. Завдяки високій корозійній стійкості в сірчистих газах новий конструкційний матеріал забезпечує надійну роботу електрофільтрів, що застосовуються в коксохімічному і феросплавному виробництвах, підвищує довговічність газоочисних споруд доменних, мартенівських, конверторних і агломераційних цехів.

Медицина. Титан і його сплави в медицині відомі досить давно. За останній час інтерес до даної галузі використання титану значно зріс. Стрімкий розвиток медичної сфери застосування титану в значній мірі пояснюється відомим прогресом в сучасній хірургії в області ендопротезування суглобів. Переваги в зниженні термінів одужання, реабілітації та підвищення комфорту пацієнтів робить титан ідеальним матеріалом для створення медичних замінників кісток. Потреби в заміні суглобів продовжують рости, тому що люди все частіше отримують ушкодження в результаті заняття важкими видами спорту або бігу, вони отримують серйозні травми в автомобільних аваріях та інших пригодах.

Легкий, міцний і повністю біосумісний, титан є одним з небагатьох матеріалів, які за своєю природою відповідають вимогам імплантації в людське тіло. Титан вважається абсолютно неактивним і стійким до корозії в результаті впливу рідин і тканин організму, а тому повністю біосумісним. Титан використовується у виробництві хірургічного інструменту, внутрішніх і зовнішніх протезів, включаючи такі критичні, як серцевий клапан, імплантатів для зміцнення хребта, штифтів, кісткових пластин, гвинтів, внутрішньомозкових стрижнів і зовнішніх фіксаторів. З титану виготовляють милиці та інвалідні коляски.

Широкий асортимент хірургічних інструментів виготовляється з титану. Легкість металу позитивно позначається на зниженні втоми хірурга. Часто інструменти піддаються анодуванню з метою створення неотражаючих поверхні, яка набуває особливого значення в мікрохірургії, наприклад, в очній хірургії. Титанові інструменти витримують повторну стерилізацію без шкоди якості леза або поверхні, стійкості до корозії або міцності. Титан не

намагнічується, і тому не становить загрози для невеликих і чутливих імплантованих електронних пристроїв.

Найбільш вживаними в медицині є марки і сплави титану: комерційно чистий титан VT1-0, VT1-00, сплави VT6, VT6C.

Причина популярності використання титану в спортивному інвентарі проста - він дозволяє отримати перевершує будь-який інший метал співвідношення ваги і міцності. Використання титану в велосипедах почалося приблизно 25-30 років тому і було першим застосуванням титану в спортивному інвентарі. Інші частини вироблені з титанових сплавів включають в себе гальма, зірочки та пружини сидінь. Використовується титан у виробництві ключок для гольфу. Протягом короткого періоду часу титанові ключки пройшли шлях від ексклюзивного і дорогого інвентарю невеликої групи гравців до широкого використання більшістю гольфістів (як і раніше залишаючись більш дорогими у порівнянні зі сталевими ключками).

На подив значна кількість титанового листа використовується при виробництві ножів для підводного плавання. Більшість виробників використовують сплав Ti6Al-4V, але цей сплав не забезпечує довговічність кромки леза, як інші більш міцні сплави. Деякі виробники переключаються на використання сплаву VT23.

Титан дуже широко використовується в альпінізмі і туризмі, практично для всіх предметів, які альпіністи і туристи несуть в своїх рюкзаках: пляшки, чашки, набори для приготування їжі, столовий посуд. Іншими прикладами альпіністського та туристичного спорядження є компактні печі, стійки і кріплення наметів, льодоруби і льодобури.

Виробники озброєння виробляють титанові пістолети, як для спортивної стрільби, так і для правоохоронних органів.

Споживча електроніка. Ця область застосування є досить новим і швидко зростаючим ринком для титану. У багатьох випадках застосування титану в споживчій електроніці викликано не тільки його чудові властивості, але також і привабливим зовнішнім виглядом виробів. Комерційно чистий титан VT1-0 використовується для виробництва корпусів портативних комп'ютерів, мобільних телефонів, плазмових телевізорів з плоским екраном та іншого електронного обладнання. Використання титану у виробництві динаміків забезпечує кращі акустичні властивості в зв'язку з легкістю титану в порівнянні зі сталлю, що приводить до збільшення акустичної чутливості.

Титанові годинник, вперше запроваджені на ринок японськими виробниками, зараз є одним з найбільш доступних і визнаних споживчих титанових продуктів.

Архітектура. Титан - кращий вибір для різних архітектурних сфер застосування, він використовується для зовнішньої обшивки будівель, несучих стін, покрівельних матеріалів, облицювання колон, софітів, карнизів, навісів, внутрішньої обшивки, легких кріпильних пристосувань і, крім того, титан використовується в мистецтві, скульптурі і для виготовлення пам'ятників.

Коли термін служби будь-яких інших архітектурних металів добігає кінця, титан витримує випробування часом. Він стійкий до забруднень міської атмосфери і морського середовища, кислотних дощів, опадів вулканічної золи, промислових викидів і іншим вкрай несприятливих атмосферних умов. Титан не береться атмосферних впливів і не знебарвлюється від ультрафіолетових променів. Також він має відмінну стійкість до корозії, яка може з'явитися в результаті кислотних дощів і дії агресивних газів (газ сірчистої кислоти, газ сірководню і т.д.), що є плюсом при використанні титану для будівництва в великих містах і промислових областях.

Ювелірні вироби. Титан застосовують в сувенірах і біжутерії, галантереї, де він успішно змагається з такими дорогоцінними металами, як срібло і навіть золото. Світове споживання титану у виробництві традиційних і, так званих, натільних ювелірних виробів вимірюється кількома десятками тонн. Все частіше можна зустріти титанові кільця, браслети, ланцюжки, кулони, підвіски, сережки.

Для таких цілей можуть використовуватися титанові сплави марок ВТ6, ВТ6С, але оскільки немає потреби збільшувати міцність металу для виготовлення ювелірних виробів, найбільш підходящим є чистий титан ВТ1-0. При термічній обробці титанові сплави в певних лугах ВТ6, ВТ20, ВТ22, ВТ23, ОТ4, ОТ4-1, ВТ16, ВТ3-1, ВТ5, ВТ5-1, мають різні кольори мінливості, що можна використовувати як додаткових ефект в ювелірних виробках.

1.3 Переваги і недоліки титанових сплавів в порівнянні з іншими матеріалами

Переваги застосування титану і титанових сплавів:

1. Корозійна стійкість. Титан є одним з небагатьох металів з винятково високою корозійною стійкістю. Він стійкий в атмосферному повітрі, морській воді і морській атмосфері, у вологому хлорі, хлорного воді, гарячих і холодних розчинах хлоридів, в різних технологічних розчинах і реагентах, застосовуваних у хімічній, нафтовій, папероробної та інших галузях промисловості, а також в гідрометалургії. За своєю корозійною стійкістю в морській воді він перевершує всі метали, за винятком благородних - золота, платини і т. П., Більшість видів нержавіючої сталі, нікелеві, мідні та інші сплави. Справа в тому, що реакції титана з багатьма елементами відбуваються тільки при високих температурах. При звичайних температурах хімічна активність титану надзвичайно мала, і він практично не вступає в реакції. Пов'язано це з тим, що на свіжій поверхні чистого титану, як тільки вона утворюється, дуже швидко з'являється інертна, що добре зростається з металом. Найтонша, в кілька ангстрем ($1\text{Å}=10^{-10}\text{м}$) плівка діоксиду титану, оберігає метал від подальшого окислення. Якщо навіть цю плівку зняти, то в будь-якому середовищі, що містить кисень або інші сильні окислювачі (наприклад, в азотній або хромової кислоті), ця плівка з'являється знову, т. Е. Сплав захищає сам себе від подальшого руйнування.

2. Твердість. Титан - дуже твердий метал: він в 12 разів твердіше алюмінію, в 4 рази - заліза і міді. По твердості даний матеріал наближається до деяких

термічно обробленим легуваних сталей. Йодидний титан має твердість 90, тоді як твердість нелегованого технічного титану становить близько 160 одиниць, а для сплавів після термообробки 250-500 одиниць по Нv. Типовий промисловий сплав з межею плинності близько 90 може мати твердість до 320 одиниць по Нv.

3. Міцність. Титанові сплави мають високу міцність по відношенню до інших матеріалів ($\sigma=800-1500$ МПа). За питомою міцності титан не має суперників серед промислових металів. Навіть такий метал, як алюміній, поступився ряд позицій титану, який лише у півтора рази важче алюмінію, але зате в шість разів міцніше. І що особливо важливо, титан зберігає свою міцність при високих температурах (до 500°C , а при добавці легуючих елементів - до 650°C), в той час як міцність більшості алюмінієвих сплавів різко падає вже при 300°C . Питома міцність кращих титанових сплавів досягає 30-35 і більше, що майже вдвічі перевищує питому міцність легуваних сталей.

Міцність титану при розтягуванні. Нелегований титан може мати міцність при розтягуванні від $24,5$ кгс/см² для металу високого ступеня чистоти, одержуваного методами термічного розкладання йодиду титану, до 70 для металу підвищеної твердості, одержуваного з губки.

4. Пластичність. Висока пластичність титану в порівнянні з іншими металами, що мають ГПУ-решітку (Zn, Mg, Cd), пояснюється великою кількістю систем ковзання і двійникування завдяки малому співвідношенню.

5. Щільність. Титан і його сплави має малу щільністю, практично в два рази меншою в порівнянні з залізом, приблизно 4500 кгс/см². Щільність чистого титану при 20 становить. З підвищенням температури щільність титану знижується і при 870°C становить 4350 кгс/см². Щільність більшості промислових і сплавів мало відрізняється від щільності титану і перебувати в межах. Дана перевага сприяє зменшенню маси використовуваного матеріалу.

Недоліки застосування титану і титанових сплавів:

1. Висока вартість виробництва, титан значно дорожче заліза, алюмінію, міді, магнію.

2. Активна взаємодія при високих температурах, особливо в рідкому стані, з усіма газами, складовими атмосферу, в результаті чого титан і його сплави можна плавити лише в вакуумі або в середовищі інертних газів.

3. Труднощі залучення у виробництво титанових відходів.

4. Погані антифрикційні властивості, обумовлені налипанням титану на багато матеріалів, титан в парі з титаном не може працювати на тертя.

5. Висока схильність титану і багатьох його сплавів до водневої крихкості і сольовий корозії.

6. Погана різанням, аналогічна оброблюваності нержавіючих сталей аустенітного класу.

7. Велика хімічна активність, схильність до зростання зерна при високій температурі і фазові перетворення при зварювальному циклі викликають труднощі при зварюванні титану.

1.4 Особливості механічної обробки титанових сплавів

При високих температурах, які розвиваються в зоні різання, титанова стружка і обробляється деталь окислюються. Окислення стружки створює проблеми, пов'язані з її очищенням при залученні відходів в плавку і інших способах її утилізації. Окислення поверхні оброблюваних деталей в неприпустимій мірі може привести до зниження експлуатаційних характеристик.

Трудомісткість механічної обробки титанових сплавів в 3-4 рази більше, ніж для вуглецевих сталей, і в 5-7 разів вище, ніж для алюмінієвих сплавів. Коефіцієнт відносної оброблюваності по відношенню до сталі 45 складає 0,35-0,48 для титану і сплавів ВТ5 і ВТ5-1 і 0,22-0,26 для титанових сплавів ВТ6, ВТ20 і ВТ22.

Найбільші труднощі при обробці титанових сплавів різанням виникають при чорновій обробці заготовок (штамповок, поковок, прутків). Так як при цьому видаляється поверхневий дефектний шар, що складається з окалини і кірки, що утворюється в результаті взаємодії титану з киснем і азотом повітря, і відрізняється досить високою твердістю і альфірованою структурою. З метою підвищення ефективності чорнової операції, зазвичай виконується гострінням або фрезеруванням, рекомендується попередньо видаляти окалину і кірку спеціальною обробкою. Заготовки (прутки, поковки, штампування) титанових сплавів обдувають піском до видалення окалини, про що свідчить матовий світло-сірий колір їх поверхні (бурі плями і відтінки не допускаються), і піддають травленню при температурі 20 ... 30°C в водному розчині, що містить 16% азотної і 5% фтористо-водневої кислот, а потім промивають у воді.

Тривалість травлення визначається по виду заготовок: поверхня їх повинна мати глянцевої металевий блиск. Регулює процес травлення за часом досягається зміною змісту в ванні фтористоводородної кислоти, збільшення якої прискорює травлення. Зазначена обробка поверхні напівфабрикатів істотно полегшує подальшу чорнову обробку, збільшуючи стійкість різця з платівкою зі сплаву ВК8 приблизно в 3 рази.

Вирішальною умовою забезпечення стійкості інструменту є таке проведення обробки, при якій вершина ріжучого леза здійснює різання тільки під кіркою. Це досягається зняттям фаски з торця заготовки перед початком точіння і встановленням достатньої глибини різання; в разі наявності биття (через нерівності на поверхні заготовки) допускаються значні коливання глибини різання при мінімальному її значенні 0,5 мм. Фаска знімається іншим або тим же різцем, ділянкою його ріжучої кромки, які не працюють при виконанні основного проходу. При обдирання кірки на великих заготовках (типу валів, злитків) не виключена можливість застосування попереднього підігріву оброблюваної поверхні т. В. ч. Індуктор установки при обробці повинен переміщатися разом з різцем, розташовуючись попереду нього на деякій відстані. Необхідною умовою є забезпечення відповідної температури зрізаного шару, достатньої для локалізації шкідливого впливу кірки на контактні поверхні інструменту, але не приводить його до втрати ріжучих властивостей. Попередній підігрів можна

застосовувати тільки при чорновій обробці (при обдирання кірки), після якої неодмінно слід чистове обробка [2].

При механічній обробці титанових сплавів рекомендуються малі швидкості різання при невеликих подачах з рясною подачею охолоджувальної рідини. Для обробки застосовують ріжучий інструмент з більш зносостійких швидкорізальних сталей, ніж для обробки сталей, віддаючи перевагу твердих сплавів. Однак навіть при дотриманні всіх описаних заходів режими різання, особливо швидкості, повинні бути знижені в порівнянні з обробкою сталей в 3-4 рази для забезпечення прийнятної стійкості інструменту, особливо при обробці при обробці на верстатах з ЧПУ.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Моделювання деталі «Втулка» в CAD / САМ-системі

Аналіз CAD / САМ-систем

У дослівному перекладі термін CAD / САМ (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing) означає комп'ютерне проектування та виготовлення. Під комп'ютерним проектуванням в загальному випадку розуміється розробка конструкторського проекту виробу на основі тривимірного геометричного моделювання деталей і складальних одиниць, з подальшим автоматизованим формуванням комплексу креслярсько-конструкторської документації. Система, яка виконує комп'ютерне проектування, називається САМ-системою.

Під комп'ютерним виготовленням розуміється автоматизоване формування, на основі наявної геометричної моделі виробу, керуючих програм для виготовлення деталей виробу на обладнанні з ЧПУ. Система, яка вирішує це завдання, називається САМ-системою. Деякі САМ-системи мають обмежені кошти для моделювання, але зазвичай моделі деталей, на підставі яких будується процес обробки, «приймаються» з САМ-системи через узгоджені інтерфейси.

CAD / САМ-системою називається система, яка забезпечує інтегроване рішення задач розробки конструкторського проекту виробу і формування керуючих програм для обробки деталей виробу на обладнанні з ЧПУ. Об'єднання цих, досить різних класів задач в рамках однієї системи обумовлено тим, що їх рішення базується на використанні єдиної тривимірної геометричної моделі виробу. Спільність моделі дозволяє уникнути всіх проблем, пов'язаних з передачею даних з однієї системи в іншу, забезпечує інтегроване рішення проектних завдань.



Рис. 2.1 – Застосування моделі виробу

Побудова просторової геометричної моделі проектованого виробу є центральним завданням комп'ютерного проектування. Саме ця модель використовується в CAD / САМ-системі для подальшого вирішення завдань

формування креслярсько-конструкторської документації, проектування засобів технологічного оснащення, розробки керуючих програм для верстатів з ЧПУ.

Важливо також, що при 3D проектуванні різко зменшується кількість помилок в проекті. Це відбувається з наступних причин:

1. Конструктор може наочно бачити результат своєї роботи вже в процесі проектування;

2. Види креслення формуються на підставі моделі автоматично і тому виключаються ситуації, коли інформація в одному вигляді не відповідає іншому;

3. При проектуванні складальних одиниць є можливість перевіряти збирання і виявляти помилки на рівні моделей.

Створювана геометрична модель зберігається в пам'яті комп'ютера як деякий математичний опис і відображається на екрані у вигляді просторового об'єкта. Об'єкт може відображатися в різному поданні: каркасному, з видаленням невидимих ліній, напівпрозорому і напівтоновому на малюнку 2.2.

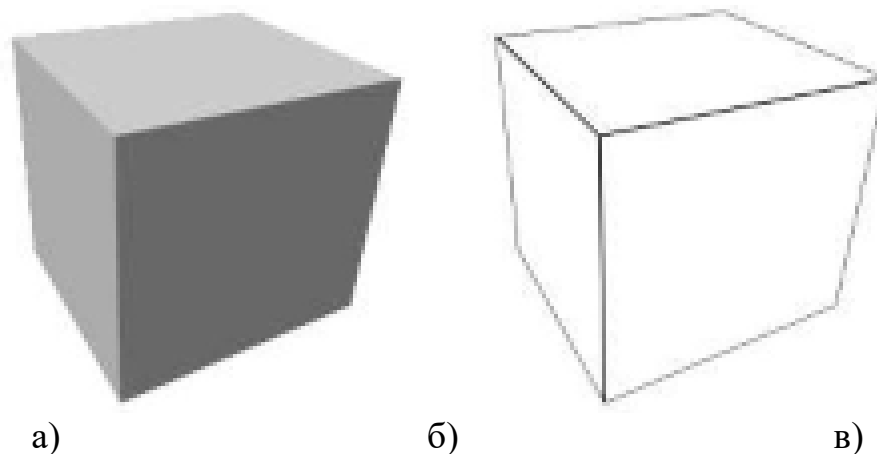


Рис. 2.2 - Види уявлення об'єкта:
а) каркасне; б) з видаленням невидимих ліній; в) півтонове

Розрізняють поверхневе (каркасно-поверхове), твердотельное і гібридне моделювання.

При поверхневому моделюванні спочатку будується каркас - просторова конструкція, що складається з відрізків прямих, дуг кіл і сплайнів. Каркас відіграє допоміжну роль і служить основою для подальшої побудови поверхонь, які «натягуються» на елементи каркаса.

Залежно від способу побудови, розрізняють наступні види поверхонь: лінійчатих; обертання; кінематичні; гантельного сполучення; що проходять через поздовжні і поперечні перерізи; поверхні для «затягування вікон» між трьома і більше суміжними поверхнями; NURBS-поверхні, що визначаються завданням контрольних точок поздовжніх і поперечних перерізів; планарні поверхні.

Хоча поверхні і визначають межі тіла, але самого поняття «тіло» в режимі поверхневого моделювання не існує, навіть якщо поверхні обмежують замкнутий

обсяг. Це найбільш важлива відмінність поверхневого моделювання від твердотільного.

Інша особливість полягає в тому, що елементи каркасно-поверхневої моделі ніяк не пов'язані один з одним. Зміна одного з елементів не тягне за собою автоматичного зміни інших. Це дає велику свободу при моделюванні, проте суттєво ускладнює роботу з моделлю.

Твердотільне моделювання має в своїй основі ідеологію, яка істотно відрізняється від ідеології каркасно-поверхневого моделювання. Твердотільна модель являє собою цілісний об'єкт, що займає замкнуту частину простору. Завжди можна точно сказати, чи знаходиться точка всередині твердого тіла, на його поверхні або поза тілом. При зміні в моделі будь-якого елемента будуть змінюватися всі інші елементи, які пов'язані з ним. В результаті зміниться форма твердого тіла, але збережеться його цілісність.

Елементами, з яких будується тверде тіло, можуть бути: елементи витягування (отримані витягуванням плоского контуру перпендикулярно його площині); елементи обертання (отримані обертанням плоского контуру навколо заданої осі); фаски; заокруглення; оболонки; ребра жорсткості і ін. Твердотільний об'єкт будується шляхом послідовного «додавання» або «віднімання» елементів. Так, якщо до вже наявної твердотільної моделі «додати» елемент витягування, то цей елемент утворює на моделі виступ, а при «відніманні» елемента на моделі утворюється поглиблення. Якщо при побудовах доступні одночасно кілька твердотільних об'єктів, то над будь-якими двома твердотільними об'єктами, пересіченими в просторі, можна виконувати булеві операції об'єднання, віднімання і перетинання.

Система FeatureCAM пропонує цілий набір найбільш широко використовуваних конструктивних елементів, таких як кишені, отвори, поглиблення, пази і ін. Можливість додавання користувацьких елементів, можна вказати фрезерування по спіралі і фрезерування тонких стінок, свердління труб, свердління гарматним свердлом, точіння канавок, високоточну обробку лінз.

Найчастіше підприємства-виробники отримують готові твердотільні моделі, які вже містять інформацію, необхідну для опису форми деталі. В такому випадку користувачам FeatureCAM немає сенсу витрачати час на відтворення цих даних. Автоматичне розпізнавання конструктивних елементів (Automatic Feature Recognition - AFR) системи Feature CAM витягує інформацію, що міститься в CAD-моделі, щоб створити повністю асоційовані конструктивні елементи, придатні для обробки, і потім автоматично згенерувати траєкторію руху інструменту для обробки цих елементів. Такий процес займає лічені хвилини від імпорту моделі до отримання NC-кодів програми.

CAM-система на базі конструктивних елементів значно простіше у використанні. Розуміючи концепцію програми при роботі з одним з модулів, користувач може однаково легко працювати з будь-якими модулями програми, будь то модуль точіння, фрезерування або електроерозійної обробки (повний комплект для виробництва).

2.2 Обґрунтування вибору деталі «Втулка» для моделювання процесу точіння

Для моделювання процесу точіння була обрана деталь «Втулка». Обробка цієї деталі характеризується великими обсягами знімається припуску (до 88% від обсягу заготовлі), в поєднанні з низькою швидкістю різання даних матеріалів це призводить до значних матеріальних витрат на механічну обробку. Значний обсяг знімається припуску припадає на токарної обробки деталі. Підвищення ефективності токарної обробки деталі «Втулка» з титанового сплаву VT22, направлено на раціональне використання наявного обладнання та інструменту за рахунок пошуку оптимальних параметрів механічної обробки, що в даний час є актуальним завданням. Рішення даного завдання дозволить, в кінцевому рахунку, знизити собівартість, підвищити продуктивність і конкурентоспроможність виготовлення даної деталі.

Таблиця 3.1 – Технологічний процес виготовлення деталі «Втулка»

005	Заготівельна
010	Токарна з ЧПУ
015	Токарна з ЧПУ
020	Фрезерна з ЧПУ
025	Фрезерна з ЧПУ
030	Фрезерна з ЧПУ
035	Слюсарна
040	Розточна
045	Свердлильна
050	Свердлильна
055	Слюсарна
060	Маркування
065	Мийка
070	Контроль
080	Пакування

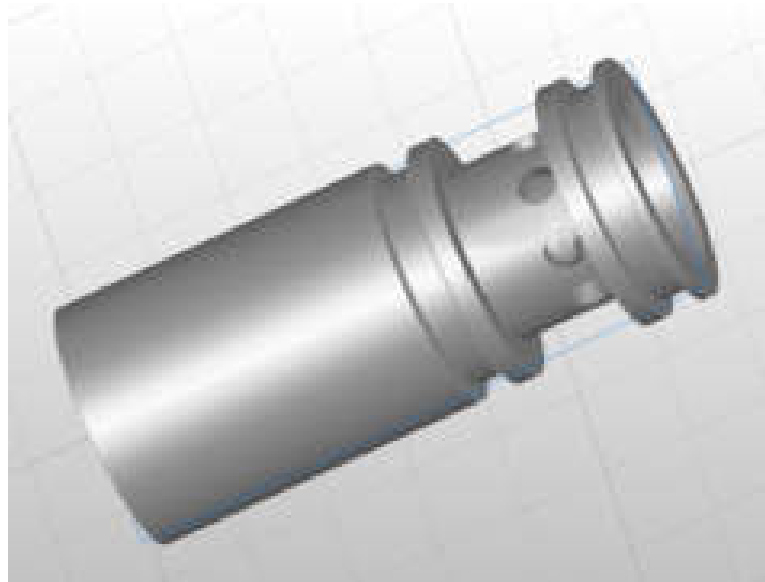


Рисунок 1.1 – деталь Втулка

Рис. 3.3 – Модель деталі «Втулка»

Креслення деталі «Втулка» наведено в Додатку 3

2.3 Проектування деталі «Втулка»

Для проектування деталі «Втулка» був обраний програмний комплекс Delcam PowerShape. Результати проектування дозволяють наочно побачити результат своєї роботи вже в процесі проектування.

Для проектування твердотільної моделі деталі «Втулка» відкриваємо програму PowerSHAPE, після чого необхідно задати локальну систему

координат, в якій буде базуватися створювана деталь (робиться це за допомогою діалогової панелі Workplane ).

Після чого ми отримуємо модель деталі «Втулка», наведений на малюнку 3.3. Підсумковий результат твердотільної моделі Фланець показаний на малюнку 3.4.

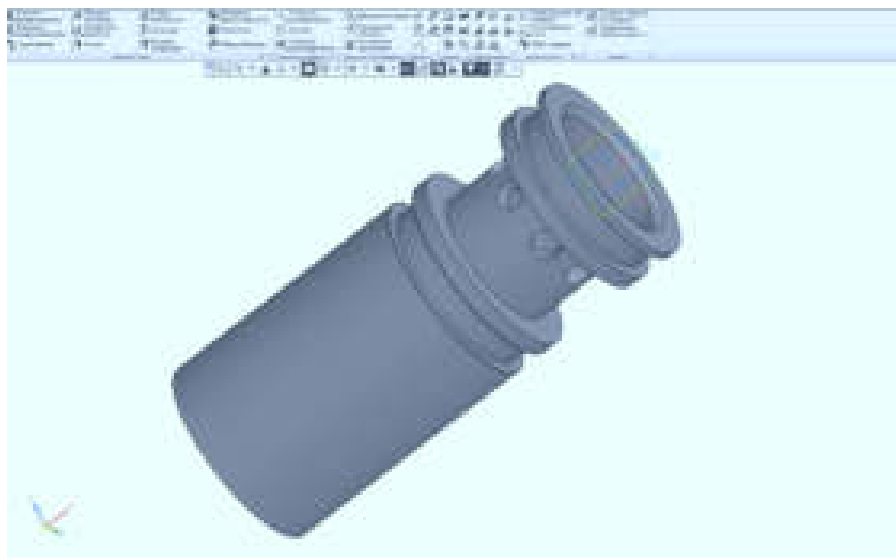
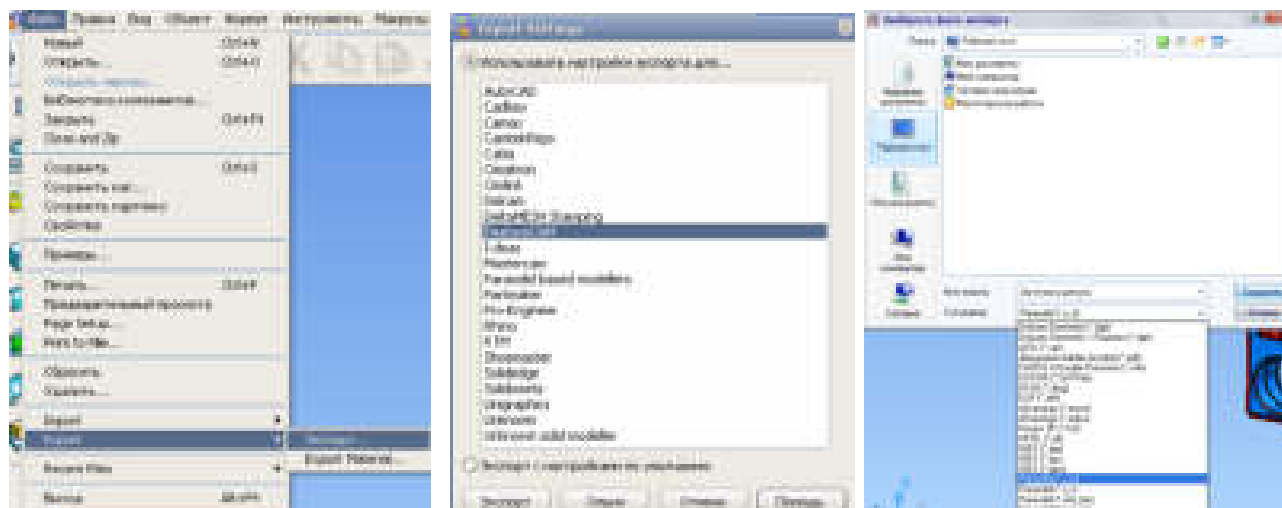


Рисунок 1.1 – деталь Втулка

Рис. 2.4 – 3D модель деталі «Втулка»

Для моделювання процесу точіння деталі «Втулка» необхідно її експортувати в програму Delcam FeatureCAM через спеціальний інтерфейс (узгоджені формати для обміну інформацією). Для цього вибираємо Файл / Експорт / Експорт ... малюнок 2.5а, у вікні 2.5б вибираємо FeatureCAM, впливає вікно 2.5 в в якому задаємо ім'я моделі деталі і розширення експортної моделі.



а)

б)

в)

Рис.2.5 - Експорт деталі в програму FeatureCAM

2.4 Моделювання процесу точіння деталі «Втулка»

Для моделювання процесу точіння деталі «Втулка» був обраний програмний комплекс Delcam FeatureCAM. Результати моделювання дозволяють наочно побачити результат автоматизованого формування, на основі наявної геометричній моделі виробу, керуючих програм для виготовлення деталі на обладнанні з ЧПУ.

При відкритті програми FeatureCAM з'являється вікно Майстер нового проекту, в якому пропонується на вибір типи операції, вибираємо: токарно-фрезерну операцію, одиницю виміру - міліметр (рисунок 3.6).

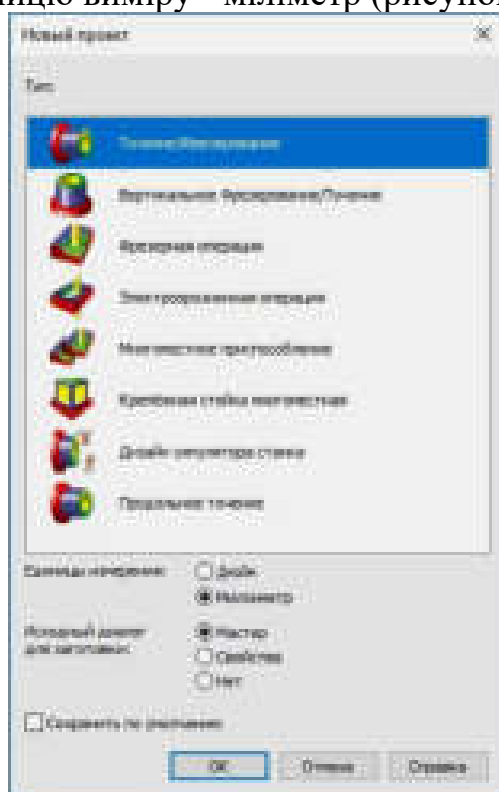


Рис.2.6 – Вибір елементів обробки в програмі FeatureCAM

Після відкриття нового проекту необхідно імпортувати модель деталі за допомогою Файл / Імпорт ... В спливающем вікні базуємо деталь щодо осі z. У наступному вікні підганяємо розміри заготовки за розмірами деталі. Тепер все готово для побудови технології обробки деталі «Втулка».

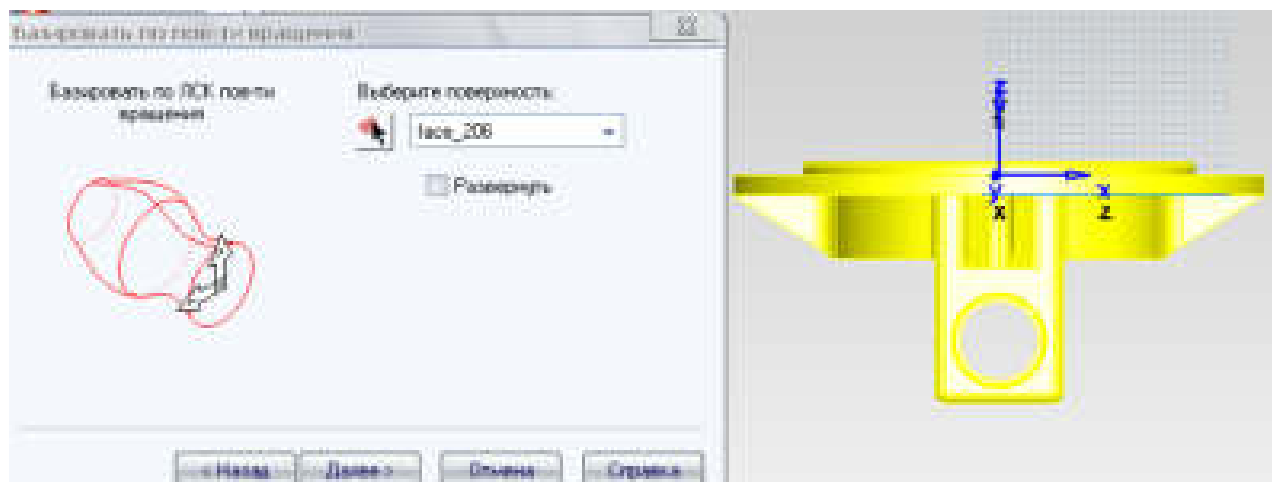


Рисунок 2.6 – Базування деталі «Втулка»

Для завдання «траєкторії» токарного оброблення необхідно побудувати «криві», поверхні яких будуть оброблятися. Після завдання кривих необхідно вибрати «елементи» і створити новий елемент за прикладом малюнка 2.7.

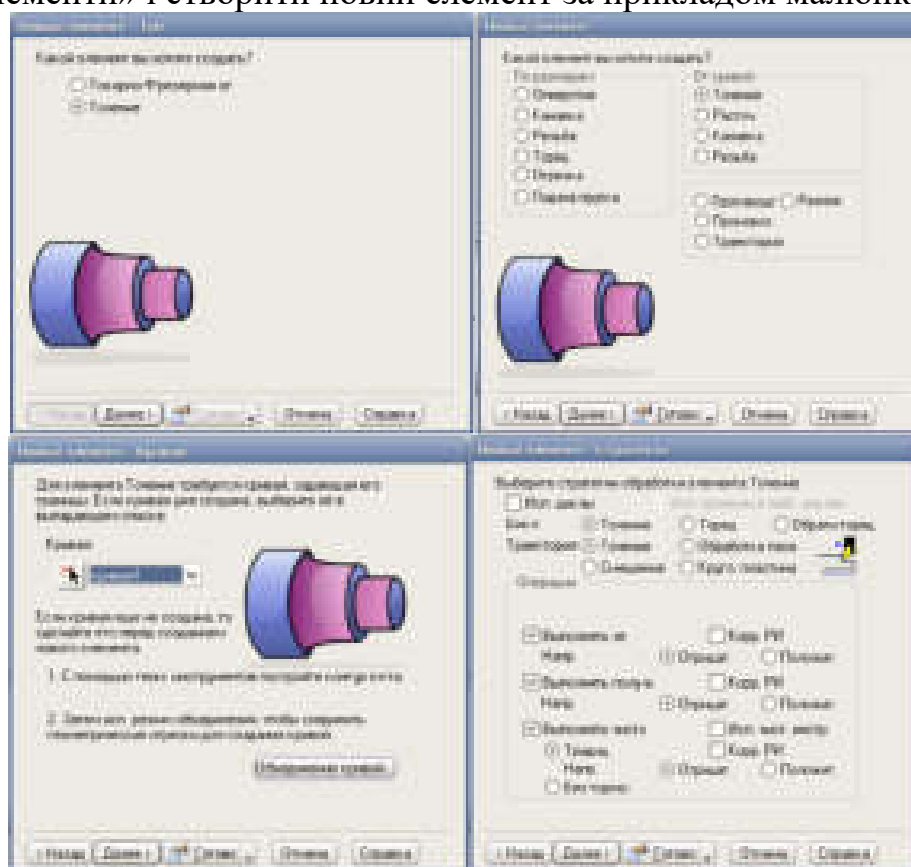


Рис.2.7 - Створення елемента токарної обробки деталі «Втулка»

Результати автоматизованої обробки деталі: токарної, свердлильної та фрезерної операцій показані фрагментами на рис.3.8-3.10

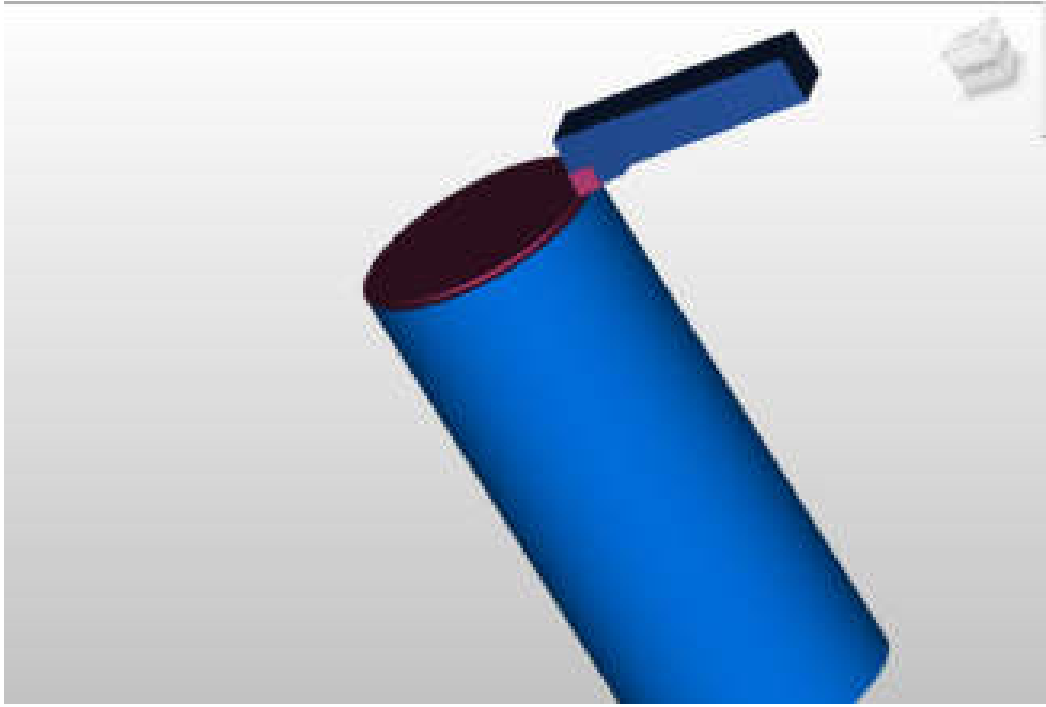


Рис.2.8 Операція токарна з ЧПК: підрізка торця

Рис.2.9 Операція токарна з ЧПК: розточування пазу

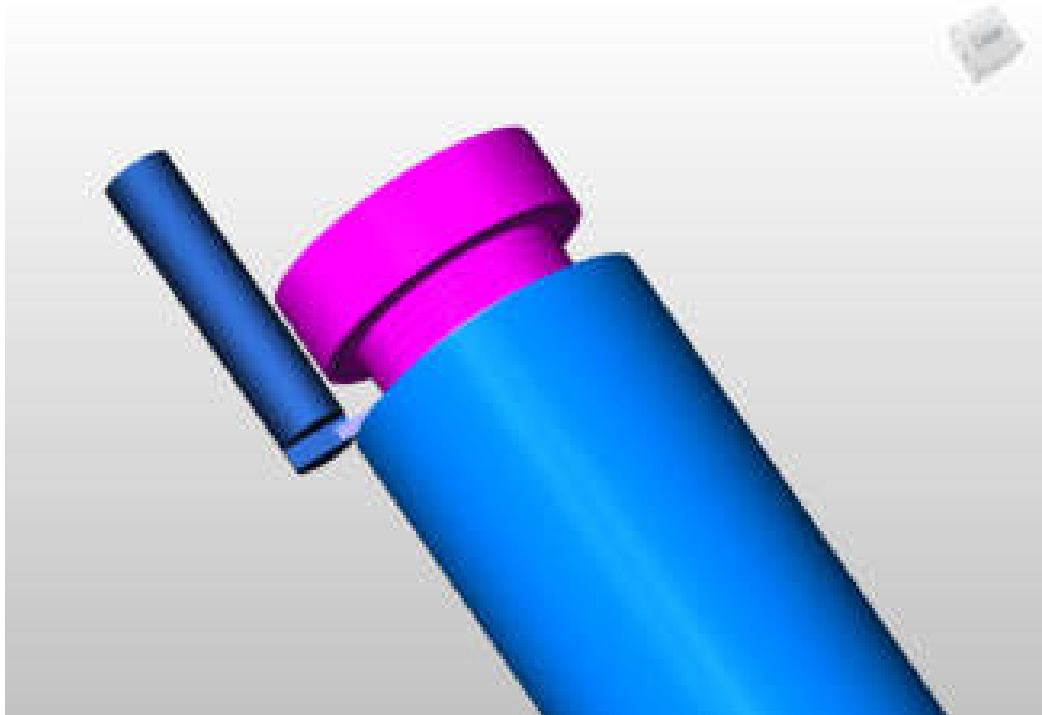


Рис.2.10 Операція токарна з ЧПК: точіння уступу і циліндру

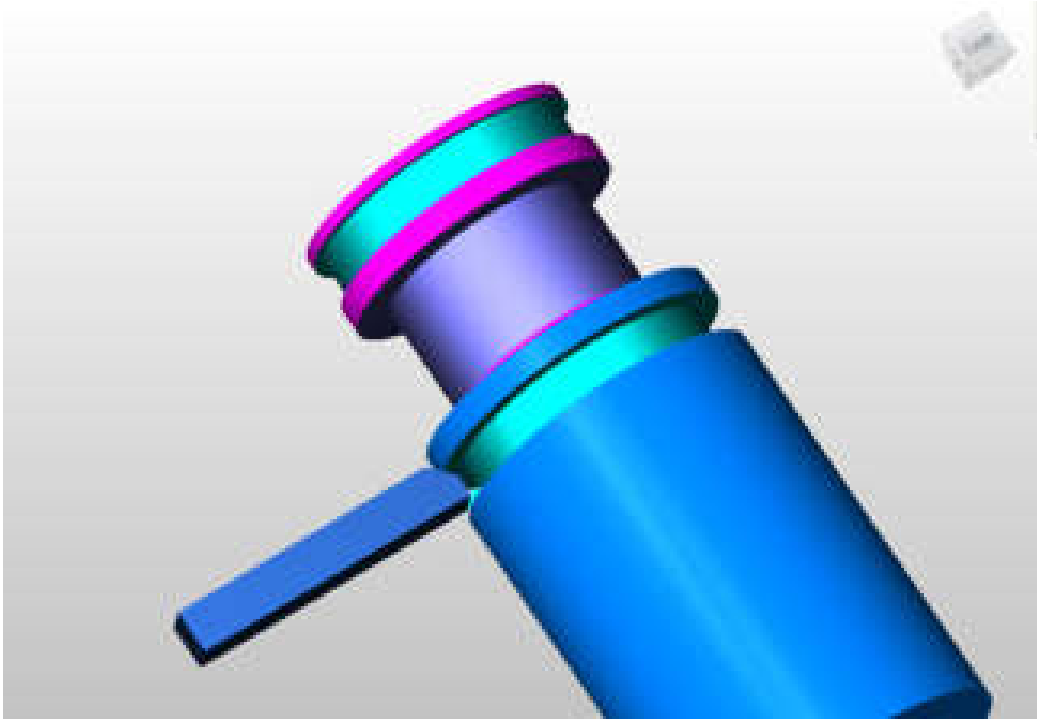


Рис.2.11 Операція сверильна з ЧПУ: свердління групи отворів

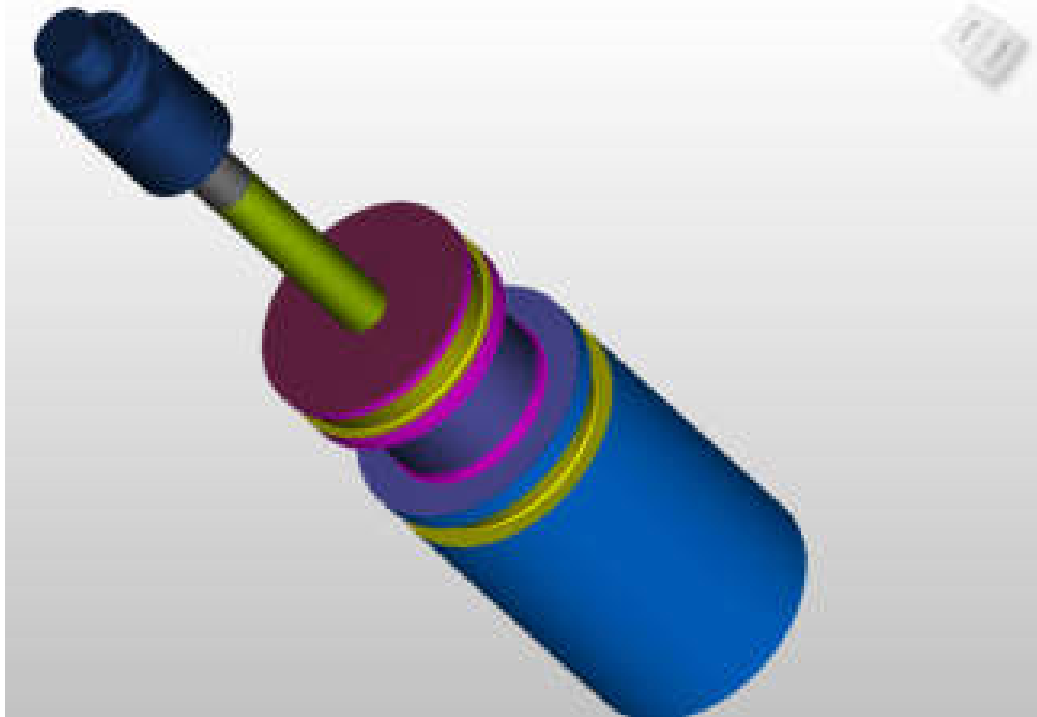


Рис.2.12 Операція фрезерна з ЧПУ: контурне фрезерування

За аналогічною схемою малюнка 2.7-2.12 створюються і інші переходи токарної, свердильної і фрезерних операцій. Керуюча програма по обробки деталі розрахована для багатоцільового верстата з ЧПУ Mazak INTEGREX i-400ST (рис.2.13)

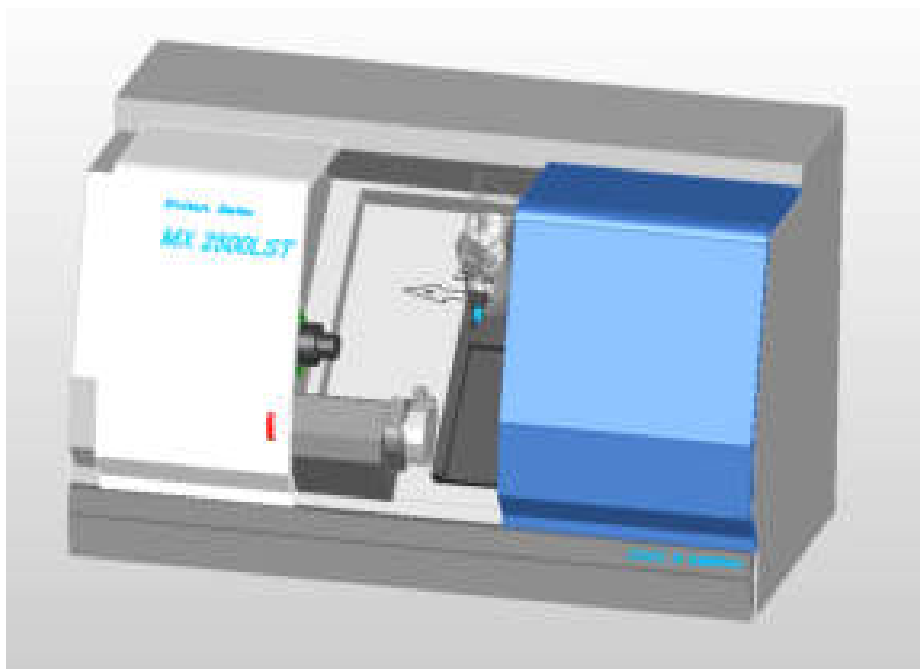


Рис.2.13 Mazak INTEGREX i-400ST

Спеціальний розділ

3.1 Оптимізація параметрів механічної обробки при точінні титанових сплавів

Оптимальним управлінням вважається такий вплив на процес різання, яке в кожен момент часу забезпечує максимум продуктивності (мінімум собівартості) при задоволенні всіх умов обмежень. В такому розумінні задача оптимізації є однокритерійним і може бути вирішена класичним методом нелінійного програмування, тобто можуть бути однозначно визначені оптимальні керуючі впливи. Під керуючими впливами зазвичай розуміють подовжню подачу на оборот заготовки та швидкість різання, а глибину різання вважати головним обуренням. Таким чином, для заданих умов токарної обробки існують такі постійні значення подовжньої подачі на оборот заготовки і швидкості різання, які призводять до максимуму продуктивності.

Найбільш раціонально використання принципів оптимального управління на верстатах з ЧПУ, так як саме тут можна отримати відчутний економічний ефект від оптимізації, оскільки станко-хвилина є дорогою і, внаслідок автоматизації допоміжних рухів, відсоток часу обробки в загальному технологічному часу виготовлення деталі збільшується.

Основою оптимізації процесу різання є його оптимізаційна математична модель, яка пов'язує критерій оптимізації з керуючими впливами - подачею і швидкістю різання. В результаті рішення задачі оптимізації знаходять керуючий вплив, яке забезпечує максимум продуктивності або мінімум собівартості при безумовному виконанні вимог обмежень за якістю обробки. Крім традиційних критеріїв оптимізації (продуктивність або собівартість) в залежності від результатів техніко-економічного аналізу застосовують критерій максимальної інтенсивності зняття припуску. Іноді на виробництві ставиться таке завдання - досягнення максимальної продуктивності або мінімальної собівартості при заданих значеннях стійкості інструменту.

Розробка математичної моделі процесу різання є найважливішим етапом створення алгоритму оптимізації. При традиційному, класичному підході, математична модель будується в вигляді системи рівнянь і нерівностей, які висловлюють зв'язку між керуючими впливами, обмеженнями і прийнятим критерієм оптимальності на основі класичних залежностей теорії різання.

Для випадку обробки подовжнім гострінням за один прохід з постійною глибиною різання, яка дорівнює припуску на обробку (ідеальний випадок), режим різання буде оптимальним при такому поєднанні подачі і швидкості різання, коли основне технологічне час буде мінімальним. Таке оптимальне рішення знаходять, відшуковуючи таке позитивне значення керуючих впливів (подачі S і частоти обертання n шпинделя) при задоволенні всіх обмежень, які доставляють мінімум критерію оптимальності - технологічного часу.

Таким чином, для випадку подовжнього точіння оптимізаційна математична модель може бути виражена такою системою рівнянь і нерівностей:

Вихідні дані для розрахунку параметрів:

- твердість оброблюваного матеріалу – HB;
- глибина різання – t , мм;
- оброблюваний діаметр – D , мм;
- стійкість інструменту – T , хв;
- необхідна шорсткість – Ra , мкм;
- шлях різця в напрямку робочої подачі – L , мм;
- потужність електродвигуна приводу головного руху верстата – $N_{эл.}$, кВт;
- ККД кінематичного ланцюга від електродвигуна до інструменту – η ;
- головний і допоміжний кути в плані різця – φ , φ_1 , град;
- радіус при вершині інструменту – r , мм;
- коефіцієнти для розрахунку швидкості різання – K_v , x_v , m_v , y_v ;
- коефіцієнти для розрахунку складової сили різання – N_{pz} , x_{pz} , y_{pz} , n_{pz} ;
- допустима сила по міцності найслабшої ланки механізму подачі – P_x ;
- товщина ріжучої пластини – N_p , мм;
- допустима напруга на вигин – $\sigma_{изг}$, МПа;
- розміри перетину різця - висота H , ширина B , мм;
- виліт різця – l_p , мм;

Цільова функція має вигляд:

$$f(x_1, x_2) = x_1 + x_2 \quad (2.6)$$

где $x_1 = \ln(100S)$, $x_2 = \ln(n)$ – оптимізуючі параметри.

Введення ряду обмежень:

Обмеження 1

Обмеження по стійкості інструмента, має вигляд:

$$V_{\phi} \leq V_p \quad (2.7)$$

Дане обмеження встановлює взаємозв'язок між швидкістю різання, обумовленої прийнятою стійкістю інструменту, глибиною різання, подачею, з одного боку та швидкістю різання, що визначається кінематикою верстата, з іншого боку. Схема до розрахунку наведена малюнку 3.2.

Фактична швидкість різання:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ (м/мин)} \quad (2.8)$$

Швидкість різання при розрахунку за емпіричною формулою:

$$V_{\phi} = \frac{C_v}{T^{m_v} \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v}} \cdot K_v \text{ (м/мин)}$$

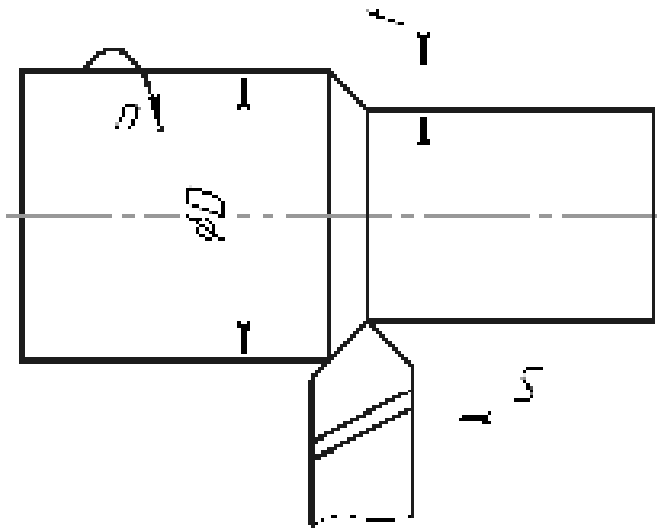


Рис.3.2 - Схема до розрахунку на стійкість різця

Підставивши швидкості різання в обмеження, отримаємо:

$$\frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \leq \frac{C_v \cdot K_v}{T^{m_v} \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v}} \quad (2.9)$$

де n - частота обертання шпинделя, об / хв;

S - поздовжня подача інструменту, мм / об;

Після логарифмування і підстановки

$x_1 = \ln(100S)$, $x_2 = \ln(n)$, отримаємо такі вирази:

$$y_v \cdot x_1 + x_2 \leq b_1 \quad (2.10)$$

$$b_1 = \ln\left(\frac{1000 \cdot C_v \cdot K_v \cdot 100^{y_v}}{\pi \cdot D \cdot T^{m_v} \cdot t^{x_v}}\right) \quad (2.11)$$

Обмеження 2

Обмеження по потужності привода головного руху, має вигляд:

$$N_{y\phi} \leq N_{aa} \cdot \eta \quad (2.12)$$

Обмеження (3.12) встановлює взаємозв'язок між ефективною потужністю, що витрачається на процес різання, і потужністю електроприводу головного руху верстата.

Ефективна потужність різання залежить від швидкості різання і складової сили різання (схема до розрахунку приведена на малюнку 3.3):

$$N_{y\phi} = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 102} \quad (\text{кВт}) \quad (2.13)$$

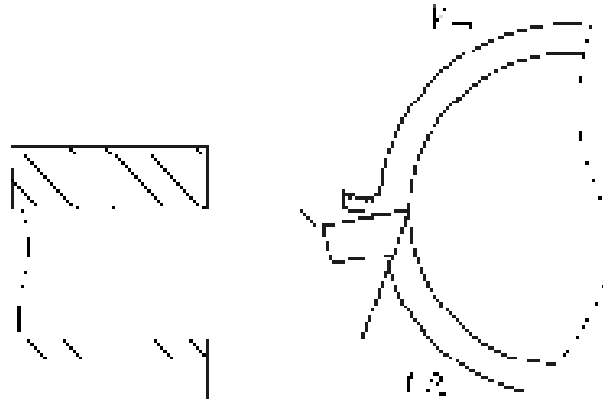


Рис. 3.3 - Схема до розрахунку на потужність головного руху

Якщо виразити швидкість різання V через частоту обертання n , підставити отриманий вираз, в формулу ефективної потужності (2.13), то отримана залежність буде містити оптимізуються параметри S і n .

$$P_z = 10 \cdot C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot V^{n_{pz}}$$

После логарифмування и подстановки $x_1 = \ln(100S)$, $x_2 = \ln(n)$ получим следующие выражения:

$$y_{pz} \cdot x_1 + (n_{pz} + 1) \cdot x_2 \leq b_2 \quad (2.14)$$

$$b_2 = \ln \left[\frac{612 \cdot 1000^{(n_{pz}+1)} \cdot N_{\text{ää}} \cdot \eta \cdot 100^{y_{pz}}}{C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot (\pi D)^{(n_{pz}+1)}} \right] \quad (2.15)$$

Обмеження 3

Обмеження по міцності механізму подачі. За силою допустимої міцності найслабшої ланки механізму подачі, має вигляд:

$$P_x \leq [P_x] \quad (2.16)$$

Сила P_x залежить від елементів ріжучої частини різця і режимів різання (t , S , V), від властивостей оброблюваного матеріалу і зносу різця, від умов різання і інших чинників. Так як параметрів для визначення сили P_x немає, то розрахунок ведемо з співвідношення залежності сил $P_z : P_y : P_x$. В середньому співвідношення складових сил різання можна прийняти $1 : 0,45 : 0,35$. Тоді сила $P_x = P_z \cdot 0,35$. А допустима сила P_x на токарний верстат с ЧПК С830ВЕ дорівнює 10 кН. Схема до розрахунку приведена на малюнку 2.4.

$$10 \cdot C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot V^{n_{pz}} \cdot 0,35 \leq [P_x] \quad (2.17)$$

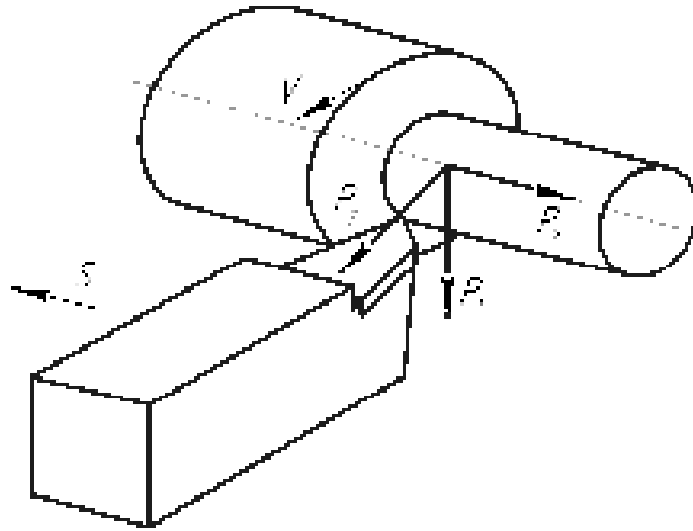


Рис.3.4 - Схема до розрахунку на міцність механізму подачі

Якщо виразити швидкість різання V через частоту обертання n , підставити отриманий вираз, в формулу сили, то отримана залежність буде містити оптимізуються параметри S і n .

Після логарифмування і підстановки S и n .

$x_1 = \ln(100S)$, $x_2 = \ln(n)$ отримаємо такі вирази:

$$y_{pz} \cdot x_1 + n_{pz} \cdot x_2 \leq b_3 \quad (2.18)$$

$$b_3 = \ln \left[\frac{[P_x] \cdot 1000^{n_{pz}} \cdot 100^{y_{pz}}}{3,5 \cdot C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot (\pi D)^{n_{pz}}} \right] \quad (2.19)$$

Обмеження 4

Обмеження по міцності державки різця, має вигляд:

$$\sigma_\epsilon \leq [\sigma_\epsilon] \quad (2.20)$$

Дане обмеження встановлює взаємозв'язок швидкості різання і подачі з допустимими параметрами по міцності ріжучого інструменту.

Напруга, що допускається на вигин залежить від згинального моменту і моменту опору перерізу різця, МПа:

$$\sigma_\epsilon = \frac{M_\epsilon}{W} \quad (2.21)$$

де, M_ϵ – згинний момент,

W – момент опору перерізу різця,

Якщо виразити вигинає момент M_ϵ через розрахункову формулу сили різання P_z , підставити отриманий вираз в формулу напруги на вигин σ_ϵ , то отримана залежність буде містити оптимізуються параметри S и n . Ескіз обробки наведено на малюнку 2.5.

$$\frac{P_z \cdot l_p}{W} \leq [\sigma_\epsilon] \quad (2.22)$$

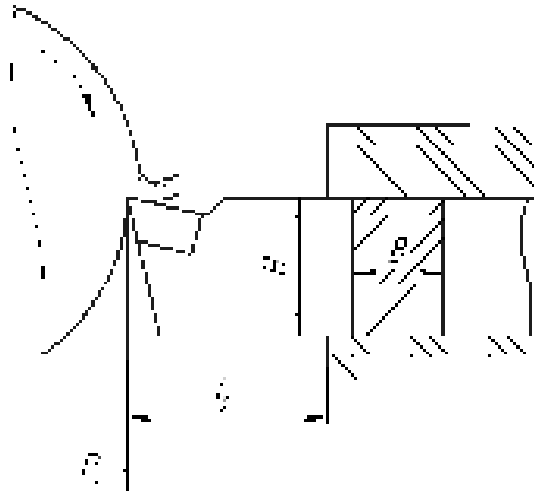


Рис. 3.5 - Схема до розрахунку на міцність перетину різця

Момент опору перетину різця розраховується з виразу:

- для прямокутного перерізу:

$$W = \frac{B \cdot H^2}{6} (\dot{I} \cdot \dot{i}) \quad (2.23)$$

- для квадратного перерізу:

$$W = \frac{B^3}{6} (\dot{I} \cdot \dot{i}) \quad (2.24)$$

- для круглого перерізу:

$$W = 0,05d^4 (\dot{I} \cdot \dot{i}) \quad (2.25)$$

Після логарифмування і підстановки $x_1 = \ln(100S)$, $x_2 = \ln(n)$ отримаємо такі вирази:

$$y_{pz} \cdot x_1 + n_{pz} \cdot x_2 \leq b_4 \quad (2.26)$$

$$b_4 = \ln \left[\frac{W \cdot [\sigma_{\dot{\epsilon}}] \cdot 1000^{n_{pz}} \cdot 100^{y_{pz}}}{10 \cdot C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot (\pi d)^{n_{pz}} \cdot l_p} \right] \quad (2.27)$$

Обмеження 5

Обмеження по міцності пластини ріжучої частини різця, має вигляд:

$$\sigma_{\delta} \leq [\sigma_{\delta}] \quad (2.28)$$

де, σ_{δ} – напругу, що виникає в ріжучій пластині в момент дії на неї сили P_z ,

МПа;

$[\sigma_{\delta}]$ – допустима напруга, здатна витримати пластина без руйнувань, МПа.

Дане обмеження встановлює взаємозв'язок подачі з допустимими параметрами, що впливають на міцність ріжучої пластини. Тангенціальна сила впливає на ріжучу пластину як сила вигину.

$$y_{pz} \cdot x_1 \leq b_5 \quad (2.29)$$

$$b_5 = \ln \left[\frac{34 \cdot \tilde{N}_m^{1,35} (\sin 60 / \sin \varphi)^{0,8} \cdot 100^{y_{pz}}}{C_{pz} \cdot t^{(x_{pz} - 0,77)}} \right] \quad (2.30)$$

где C_m – товщина пластини, мм.

Обмеження 6

Обмеження по шорсткості оброблюваної поверхні.

Подача і швидкість різання, що допускається необхідної шорсткістю Ra обробки, може бути визначена за детермінованою складовою профілю шорсткості обробленої поверхні. Шорсткість визначається за геометричними залежностями формування мікронерівностей поверхневого шару деталі. І залежить від геометричних параметрів різця (головного φ та допоміжного φ_1 кутів в плані та радіуса r округлення вершини різця в плані), твердості матеріалу HB , глибиною зрізаного шару, подачі і швидкості різання.

Шорсткість поверхні не повинна перевищувати необхідну:

$$Ra = \frac{0,85 \cdot t^{0,31} \cdot S^{0,58} \cdot \varphi^{0,4} \cdot \varphi_1^{0,4}}{V^{0,06} \cdot r^{0,65} \cdot HB^{0,05}} \quad (2.31)$$

Після логарифмування і підстановки $x_1 = \ln(100S)$, $x_2 = \ln(n)$ отримаємо такі вирази:

$$0,58 \cdot x_1 - 0,06 \cdot x_2 \leq b_6 \quad (2.32)$$

$$b_6 = \ln \left[\frac{Ra \cdot (\pi \cdot D)^{0,06} \cdot r^{0,65} \cdot HB^{0,05} \cdot 100^{0,58}}{0,85 \cdot 1000^{0,06} \cdot t^{0,31} \cdot \varphi^{0,4} \cdot \varphi_1^{0,4}} \right] \quad (2.33)$$

Обмеження 7

Величина подачі не може бути менше, ніж мінімальна подача, яку може забезпечити кінематика верстата (S_{min}). Також подача повинна бути не менше 0,07 мм / об, в зв'язку з тим, що малий перетин зрізаного шару титанового сплаву може привести до самозаймання стружки. Тобто має виконуватися нерівність:

$$0,07 \leq S \leq S_{min} \quad (2.34)$$

Обмеження 8

Величина подачі не може бути більше, ніж максимальна подача, яку може забезпечити кінематика верстата (S_{max}). Так само при чорновій обробці титанових сплавів, подання не може бути більше 0,6 мм / об, з тієї причини, що зі збільшенням подачі збільшується і сила різання. Яка в свою чергу негативно впливає на процес обробки титанових сплавів. Тобто має виконуватися нерівність:

$$0,6 \geq S \leq S_{max} \quad (2.35)$$

Так як при обробці титанових сплавів використовуються сучасні токарні верстати з ЧПУ, діапазон подач яких коливається від 0,001 мм до декількох

міліметрів, то для оптимізації слід застосовувати обмеження за даними подач – $S_{\max} = 0,6$ мм/об, $S_{\min} = 0,07$ мм/об.

Обмеження 9

Розрахункова величина швидкості різання не може бути менше, ніж можлива, виходячи з найменшого числа оборотів верстата, тобто має виконуватися нерівність:

$$n \geq n_{\min} \quad (2.36)$$

Обмеження 10

Розрахункова величина швидкості різання не може бути більше, ніж можлива, виходячи з максимальної кількості оборотів верстата, тобто має виконуватися нерівність:

$$n \leq n_{\max} \quad (2.37)$$

Після логарифмування і підстановки $x_1 = \ln(100S)$, $x_2 = \ln(n)$ отримаємо такі вирази:

$$\ln(100 \cdot 0,07) \leq x_1 \leq \ln(100 \cdot 0,6) \quad (2.38)$$

$$\ln(5) \leq x_2 \leq \ln(1500) \quad (2.39)$$

Лінеаризація рівнянь технологічних обмежень і цільової функції. Зводимо нерівності технологічних обмежень і рівняння цільової функції в одну систему.

Перехід до лінійної системи здійснюється логарифмування. Цільова функція може бути представлена в наступному вигляді:

$$f = (n \cdot S) \longrightarrow \max \quad (30) \quad (2.40)$$

Прологарифмував вираз (2.40), отримаємо:

$$\ln(f) = \ln(n) + \ln(S) \longrightarrow \max$$

Для оптимізації параметрів механічної обробки при точінні титанових сплавів доцільно використовувати алгоритм, блок-схема якого представлена на малюнку 3.6.

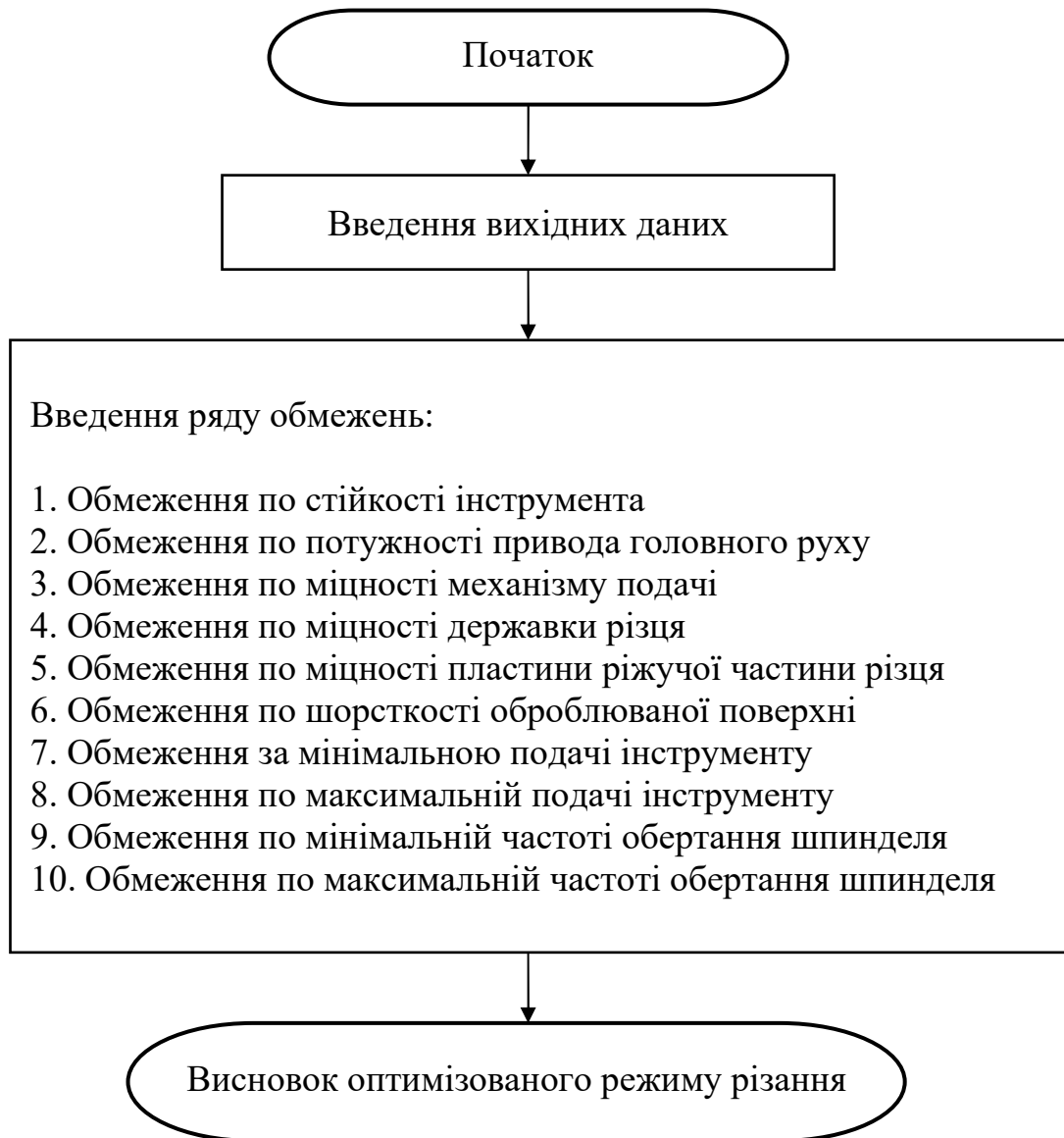


Рис.3.6 - Блок-схема програми оптимізації параметрів механічної обробки титанових сплавів

Лістинг програми наведено в Додатку 2

3.2 Визначення впливу параметрів механічної обробки титанових сплавів на її ефективність

Для проведення аналізу перелогових оптимального режиму Різання від Зміни параметрів обробки, слід визначити:

- залежність оптимального режиму Різання від періоду стійкості інструменту T ;
- залежність оптимального режиму різання від глибини різання t ;
- залежність потужності різання і складової сили від глибини різання t ;
- залежність оптимального режиму різання від головного кута в плані різця;

- залежність продуктивності і швидкості формоутворення від глибини різання при оптимальному режимі

1) Аналіз залежності оптимального режиму різання від періоду стійкості інструменту T .

Щоб визначити цю залежність, слід провести оптимізацію режиму різання і титанового сплаву з період стійкості рівним від 30 до 60 хвилин.

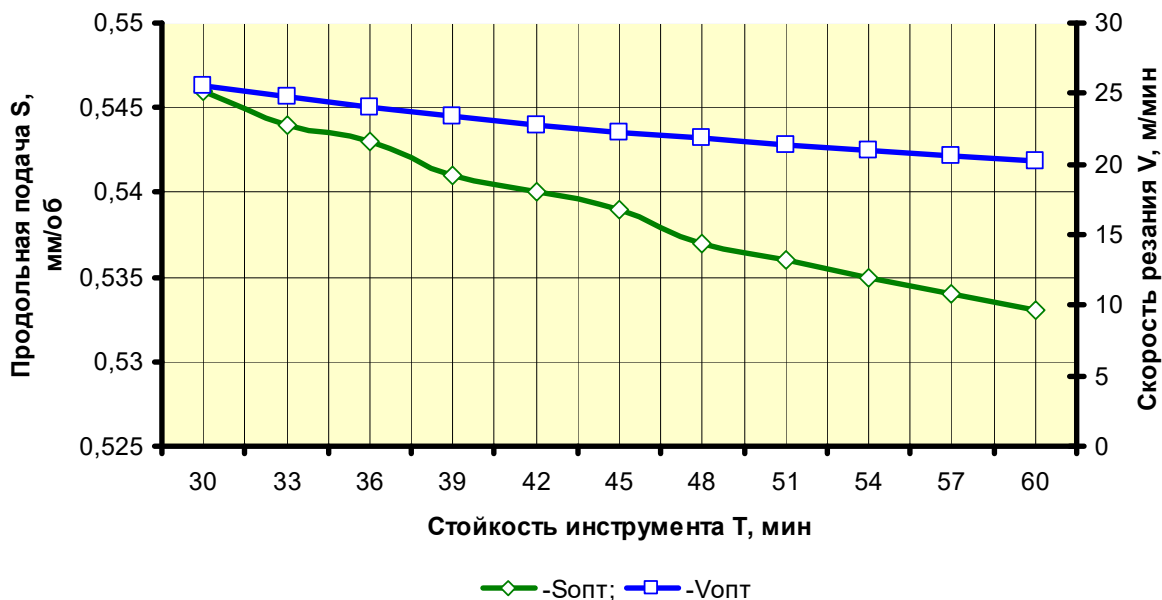


Рис.3.7 - Залежність оптимального режиму різання від стійкості інструменту

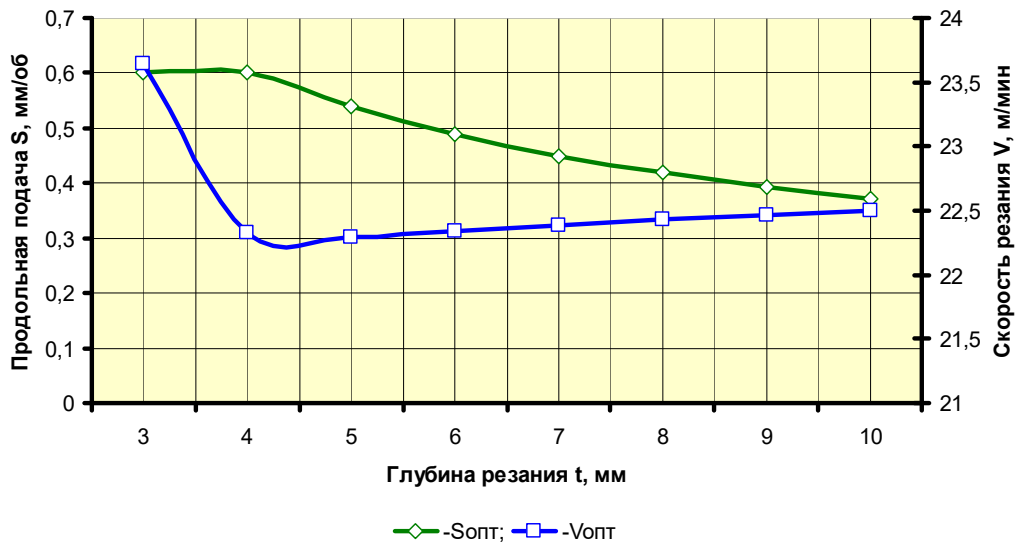
Аналіз отриманих результатів на графіку по малюнку 3.7 свідчить, що при збільшенні стійкості інструменту T , швидкість різання знижується по лінійної залежності.

2) Аналіз залежності оптимального режиму різання від глибини різання t

Для проведення аналізу цієї залежності, слід провести оптимізацію режиму різання титанового сплаву з глибиною різання від 3 до 10 мм (чорнова обробка). Аналіз отриманих результатів на графіку по малюнку 2.8 свідчить, що закон оптимального управління процесом точіння має дві зони:

- оптимальна обробка до глибини різання 4 мм відбувається з постійною поздовжньої подачею на оборот заготовки (рівній 0,6 мм / об), тим не менше, швидкість різання знижується по лінійної залежності;

- оптимальна обробка з глибиною різання, яка перевищує 4 мм, виконується з практично постійною швидкістю різання (вона трохи збільшується), тим не менше, поздовжня подача на оборот заготовки знижується також по лінійної залежності.



Малюнок 3.8 - Залежність оптимального режиму різання від глибини різання

3) Аналіз залежності потужності різання і складової сили від глибини різання при оптимальному режимі

Для проведення аналізу цієї залежності, слід провести оптимізацію режиму різання титанового сплаву з глибиною різання від 3 до 10 мм.

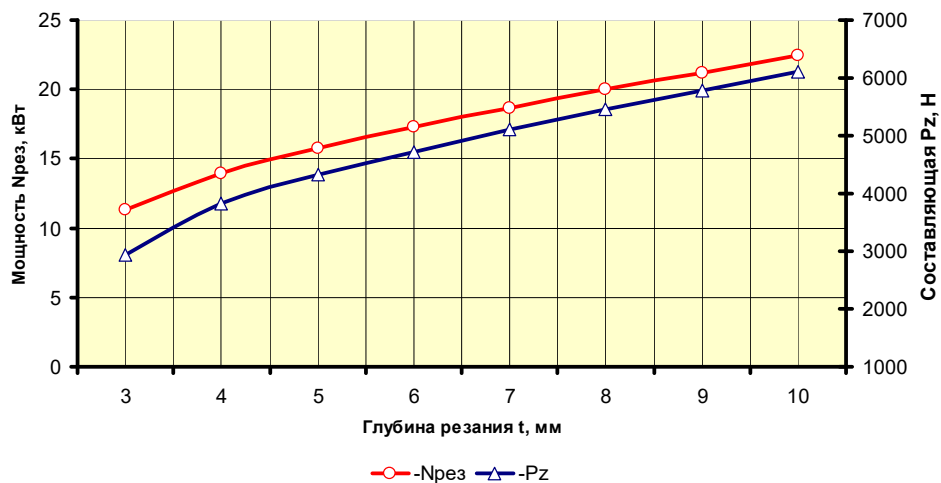


Рис. 3.9 – Залежність потужності та сили P_z від глибини різання t

Щодо енергетичних характеристик оптимального процесу різання, можна зробити висновки з аналізу графіка по малюнку 2.9. При підвищенні глибини різання, потужність різання збільшується. Це відбувається через те, що глибина різання безпосередньо впливає на підвищення складової сили. Для підвищення продуктивності з великими глибинами різання (чорнова обробка) необхідно використовувати більш потужний верстат. Такий результат свідчить про певну оптимальності конструктивного рішення вибору параметрів верстата.

4) Аналіз залежності оптимального режиму різання від головного кута в плані ϕ різця

Для проведення аналізу цієї залежності, слід провести оптимізацію режиму різання титанового сплаву з головним кутом в плані різця від 20° до 90°

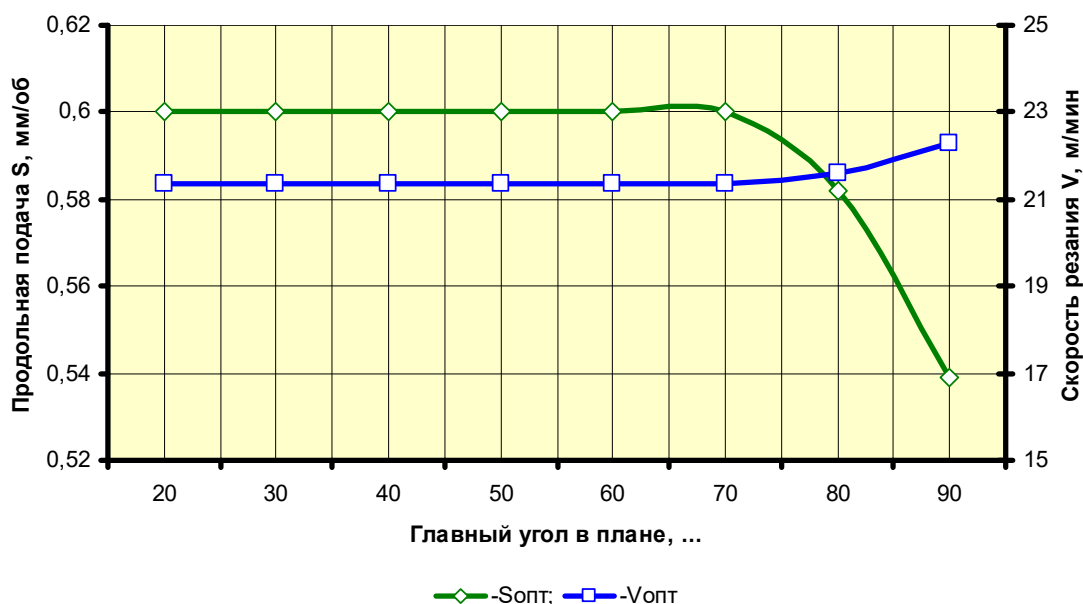


Рис.3.10 - Залежність оптимального режиму різання від головного кута в плані різця

Аналіз отриманих результатів з графіка по малюнку 2.10 свідчить, що оптимальна обробка титанового сплаву при збільшенні головного кута в плані ϕ різця до 70° йде з постійною подачею на оборот заготовки і постійною швидкістю різання. А в діапазоні від 70° до 90° подача зменшується, а швидкість різання збільшується. Такий результат пояснюється тим, що при куті, меншому 70° обмеження по стійкості різця не утворює оптимальної вершини області можливих значень режиму різання.

5) Аналіз залежності продуктивності і швидкості формоутворення від глибини різання при оптимальному режимі

Для проведення аналізу цієї залежності, слід провести оптимізацію режиму різання титанового сплаву з глибиною різання від 3 до 10 мм.

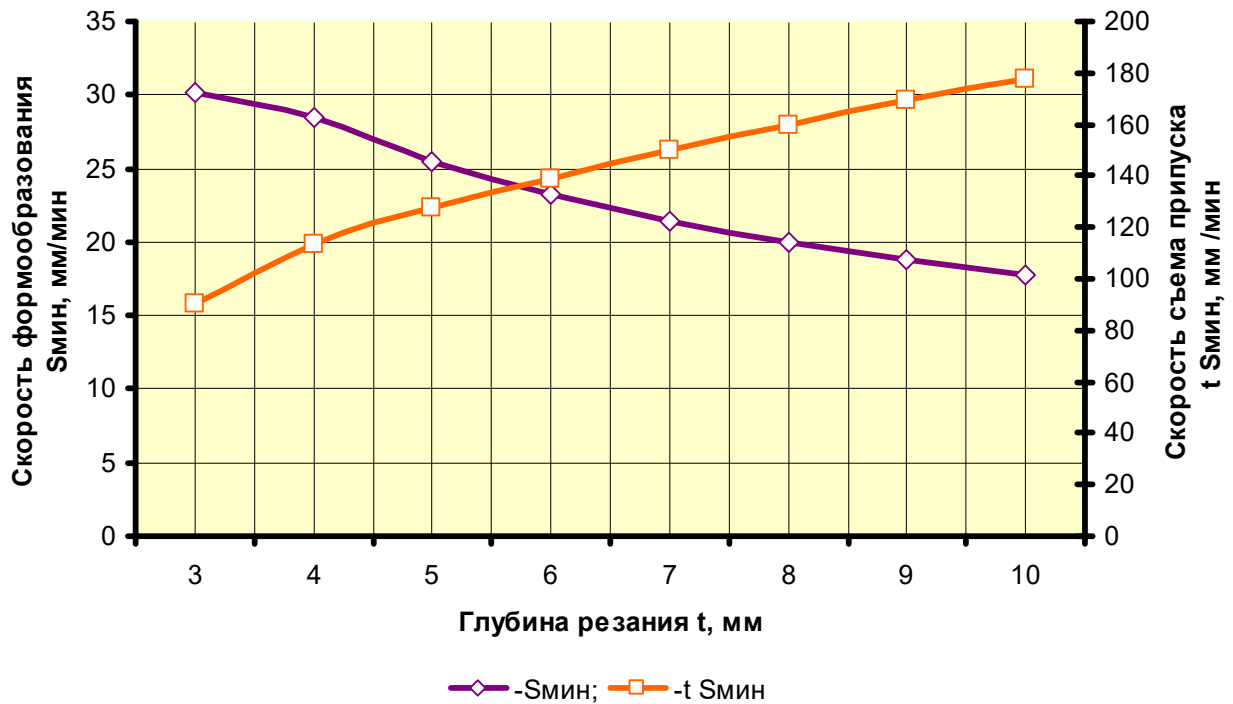


Рис. 3.11 - Залежність продуктивності і швидкості формоутворення від глибини різання при оптимальному режимі

З аналізу результатів досліджень, які представлені на малюнку 3.11, можна зробити наступні висновки:

- продуктивність верстата, оцінюється часом обробки поверхні деталі, тобто за величиною поздовжньої подачі, поступово знижується при збільшенні глибини різання, отже, при чистовій обробці слід призначати якомога менший припуск;

- продуктивність верстата, що оцінюється обсягом зрізаного припуску за хвилину зі збільшенням глибини різання збільшується.

3.3 Техніка безпеки при роботі з титановими сплавами

Титан відноситься до групи реактивних металів, він хімічно активний до більшості середовищ, якщо на ньому немає захисної оксидної плівки. Активність титану різко зростає при підвищенні температури. Природно, весь хіміко-металургійний переділ титану ведеться або в інертних середовищах (аргон, гелій), або в глибокому вакуумі. Це відноситься до отримання первинного титану - губки або крупки, виплавці злитків, одержання фасонних виливків. При проведенні цих операцій не виключено порушення інертною захисту або вакууму. В цьому випадку при знаходженні металу в рідкому стані, можливо, його загоряння і навіть вибухові реакції. Правда, при локальних розігріву, зокрема при зварюванні і газового різання, вибухів і загального загоряння не відбувається, але розбризування палаючого металу можливо.

Вимоги безпеки зварюванні титанових сплавів:

Операція зварювання титану в більшості випадків здійснюється з місцевої, струменевого захистом зони зварювання аргонном або сумішшю аргону з гелієм. При цьому часто недооцінюється можливість накопичення інертного газу в закритих або напівзакритих ємностях, або приміщеннях, в яких іноді доводиться проводити зварювання. Якщо зварювальник знаходиться в зоні накопичення інертного газу, то за браком повітря він може втратити свідомість або, як часто говорять, «потонути» в інертному газі. Найстрашніше - втрата свідомості може наступити раптово без будь-яких хворобливих явищ. Тому при організації зварювальних робіт в замкнутих приміщеннях необхідно враховувати, що захисні гази аргон і гелій небезпечні в разі витіснення ними повітря. Аргон важчий за повітря (його щільність по відношенню до щільності повітря дорівнює 1,4) і може накопичуватися в нижніх зонах замкнутих приміщень, витісняючи повітря. Гелій легший за повітря (його відносна щільність 0,14) і може накопичуватися у верхніх зонах замкнутих приміщень. Зменшення вмісту кисню в повітряній суміші до 19% (за обсягом) знижує нормальну працездатність зварника, до 16% і нижче - викликає втрату свідомості у працюючих (задуха).

Операції зварювання і поддува для захисту тильної сторони шва в замкнутих і важкодоступних приміщеннях повинні проводитися тільки при роботі припливно-витяжної вентиляції з відсмоктуванням повітря з нижніх (або верхніх або гелієвої захисту) шарів даного обсягу (приміщення). У разі, коли захист зворотного боку шва забезпечується способом заповнення обсягу, а також під час продування трубопроводу захисним газом, необхідно забезпечити відведення його за межі цеху. Неприпустимо проводити скидання захисного газу всередину приміщення, де виконується робота. У важкодоступних місцях і глибоких вузьких обсягах, звідки самостійний вихід утруднений, піддув і зварювання необхідно проводити під наглядом іншого спеціально проінструктованого робітника. Який повинен тримати зв'язок (ларингофон, телефон, переговорний пристрій) з працюючим в важкодоступному місці, і в разі необхідності подати сигнал тривоги і надати екстрену допомогу потерпілому.

Для отримання якісних зварних з'єднань з титанових сплавів перед операцією зварювання кромки в багатьох випадках вимагають спеціальної відмивання - очищення. При відмиванні в більшості випадків застосовуються горючі рідини, зокрема етиловий спирт і ацетон. У зв'язку з цим необхідно вжити всіх заходів протипожежної безпеки при роботі з зазначеними рідинами, враховуючи і те, що при зачистці титанових сплавів абразивними колами може бути велике іскроутворення (значно більш яскраве, ніж на інших металах), від якого можуть спалахнути випаровуються горючі рідини. Тому не можна поєднувати промивку крайок горючими рідинами з обробкою титану, що викликає велике іскроутворення.

Сильне іскроутворення титану при обробці наждаковими колами вимагає прийняття спеціальних заходів щодо захисту очей у працюючих, а також запобіжних заходів для попередження загоряння одягу. У деяких випадках кромки деталей перед зварюванням обробляють травильними (найчастіше кислотними) розчинами, випаровування яких може шкідливо позначитися на

працюючих. Ці операції необхідно тримати під контролем, а працюючим користуватися респіраторами. Природно, що для забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці при виконанні зварювальних робіт необхідно дотримуватися загальні вимоги нормативних документів з техніки безпеки при зварюванні.

Вимоги безпеки при механічній обробці титанових сплавів:

Механічна обробка титанових сплавів допускається без охолодження або з охолодженням стисненим повітрям, водними розчинами і емульсією. Після механічної обробки стружку збирають в контейнер і висушують продувкою повітрям. Способи збору і зберігання стружки строго регламентуються протипожежними заходами. Особлива увага при механічній обробці повинна приділятися операціям, при яких можуть утворитися пило- та порошкоподібні відходи (тирса). Їх збір і нейтралізація вимагають особливої обережності через можливість загоряння. Шліфування, різка колами, наждачний зачистка титану викликають сильне іскроутворення. Ці іскри мають величезну підпалює здатністю, тому операції обробки титану, пов'язані з новоутворенням, необхідно виробляти в приміщеннях, де відсутні будь-які легко займисті речовини, особливо в рідкому або пароподібному стані.

Перш ніж перейти до викладу раціональних умов виконання основних видів механічної обробки титанових сплавів, слід наголосити на необхідності дотримання заходів техніки безпеки при обробці цих матеріалів. Така обережність пов'язана з небезпекою займання і інтенсивного горіння стружки сплавів титану, наприклад, при точінні з малими перерізами зрізу ($t \times S = 0,05 \times 0,07$ мм) на досить високих швидкостях, а також вибухонебезпечність пилу, що утворюється при виконанні деяких видів обробки (наприклад, при шліфуванні). У зв'язку з цим при здійсненні чистових токарних і фрезерних операцій слід уникати зняття малого припуску (близько 0,05 ... 0,1 мм) і високих швидкостей різання (більше 150 м / хв), а при шліфуванні подавати в зону різання мастильно охолоджуючу рідину в рясному кількості (не менше 25 л / хв).

Техніка безпеки при впливі агресивних середовищ на титанові сплави:

Титанові сплави мають високу корозійну стійкість в багатьох агресивних середовищах, тому вони отримали ефективне застосування в хімічній промисловості. Як правило, окислюють реагенти (особливо у водних розчинах) пасивують титан. Однак в деяких випадках виявляється і пірофорному титану внаслідок його великої спорідненості з киснем. Пірофорним титан може бути в димлячої азотної кислоти при певному співвідношенні в ній оксидів азоту і води. У зв'язку з цим необхідно суворо попередньо перевіряти безпеку його застосування в хімічних реакціях з виділенням атомарного кисню, з яким титан дуже реактивний. У практиці використання титанових сплавів для судин зі складними внутрішніми хімічними реакціями є випадки несподіваних вибухів, не завжди з'ясованих. Особливо необхідна обережність при високому тиску і втрати пасивності титану, зокрема при видаленні оксидних плівок і оголенні ювенільних поверхонь.

Зважаючи на велику схильність до іскроутворення небезпечно застосування титанових сплавів в газопереробних і нафтопереробних агрегатах, трубопроводах транспортування горючих середовищ, коли можливе накопичення горючих газів, легкозаймистих від іскор. У цьому випадку будь-який непередбачений удар по титановій поверхні може викликати іскру займання.

3.4 Пожежна безпека титанових сплавів

У звичайних промислових умовах титанові сплави в компактному стані (в поковках, листах, прутках, дроті і інших напівфабрикатах) «запалити» не вдається, тому їх не можна вважати пожежонебезпечним матеріалом. Але є певні умови запалювання титану, про які слід твердо пам'ятати.

Першим фактором, небезпечним для титанових сплавів, є нагрів. Відомо, що при нагріванні вище титан починає поглинати гази з повітряного середовища. Але до температури окислення йде тільки з поверхні і не призводить до займання титану. Це підтверджує досвід металургійної промисловості, в якій нагрів зливків і заготовок перед гарячою пластичною обробкою проводиться в переважній більшості до теперішнього часу у відкритих печах (без вакууму або інертної атмосфери). Випадки ж загоряння при нагріванні були тільки в перші роки освоєння титану промисловістю (1955-1958 рр.), Коли порушувалися деякі правила нагрівання його в печах. Однак нагрів до температури плавлення призводить до займання титану і його сплавів не тільки на повітрі, але і в вуглекислому газі. При цьому реакція горіння йде бурхливо, з розбризуванням палаючого металу.

Випадки запалення заготовок в полум'яних печах на ранній стадії освоєння титану пояснюються контактом титану в печі з рідкої залізною окалиною, коли настає реакція відновлення заліза на зразок реакції алюмінію з залізної окалиною, широко застосовується при термитній зварюванні. Тому при нагріванні титанових сплавів у відкритих печах не можна допускати зіткнення їх з оксидом заліза (окалина, шлам і ін.). Піддони, що використовуються для нагрівання виробів з титану, повинні виготовлятися з стійких до окислення матеріалів і краще їх вистилали свіжими керамічними плитками. Робоче місце, піддон і застосовуваний інструмент при куванні або іншої операції, пов'язаної з нагріванням титану, слід регулярно очищати від залізної окалини.

Запалювання тонкостінних виробів з титану можливо при травленні їх в лужних розплавах. В даному випадку при видаленні оксидів поверхню активується і слід строго дотримуватися режиму травлення. Займання титану при лужному травленні в розплавах відбувається тільки при завищенні встановленої температури травлення при вилученні з лужного розплаву в місцях контакту напівфабрикату (пакети тонких листів, зв'язки труб) з завантажувальним пристроєм і пошкодженні поверхні металу (удари).

Другим важливим фактором за небезпекою загоряння титану є його подрібнення (розвиток поверхні по відношенню до обсягу). Загоряння титанових сплавів в роздробленому або порошкоподібному стані (тонка стружка, тирса,

пил, порошок і т. П.) Можливо при більш низьких температурах, ніж температура плавлення. Напівфабрикати титану товщиною понад 0,5 мм неможливо підпалити місцевим нагріванням. Навіть при газового та плазмового різання при місцевому расплавленні компактний метал не загоряється. Однак свіжа дрібна і тонка стружка загоряється від гострого полум'я. Тирса і тонку стружку титанових сплавів можна підпалити на повітрі при температурі. Займання стружки дуже рідко, підпалити її не вдається навіть при навмисних спробах, так як для займання, крім нагріву, необхідні й інші умови (ініціація іскри, шорсткість поверхні та ін.), Але про принципову можливість займання слід твердо пам'ятати. У зв'язку з цим необхідно суворо дотримуватися інструкцій з пожежної безпеки під час збирання і зберігання титанової стружки.

Стружка повинна збиратися в місцях її утворення строго окремо від сталевий стружки. Прибирати стружку слід в закриваються металеві контейнери, не допускаючи зосередження її на робочих місцях. У міру заповнення контейнери повинні прибиратися з цеху, але не рідше одного разу на зміну. Максимальна кількість стружки на робочих місцях не повинна перевищувати ємності однієї тари для збору стружки (300 кг). Забруднені обтиральні матеріали збирають в окрему закривається тару. При зборі титанової стружки повинні бути вжиті заходи, що виключають її засмічення сторонніми предметами, особливо горючими (зокрема, промаслена ганчір'я). У місцях зберігання стружки неприпустимо використання горючих рідин і знаходження легкозаймистих предметів. Спалюванню чи похованню іноді підлягають дрібна стружка, шлам, дрібні тирсу, пил, зберігання яких небезпечно навіть в контейнерах. Майданчик для спалювання відходів повинна бути викладена вогнетривкою цеглою і віддалена від будівель не менше ніж на 50 м. Спалювання проводиться в ямі, викладеної цеглою.

Кондиційні відходи необхідно зберігати в закритих контейнерах в спеціально виділених приміщеннях, обладнаних автоматичними засобами пожежної сигналізації. Транспортування стружки здійснюється будь-яким видом транспорту в контейнерах або тарі, яка виключає сильне зволоження.

Пожежонебезпека і вибухонебезпечність при поводженні з порошками з титанових сплавів:

Порошок титанових сплавів є пожежонебезпечними в виробництві. Першим параметром, що визначає небезпеку займання металевих порошків, є нижній концентраційний межа запалення (НКМЗ), вище якого ризик спалаху і вибуху реальна. НКМЗ порошків титанових сплавів, що застосовуються в техніці, знаходиться в діапазоні від 40 до 400 г / м³ і залежить від розміру часток в порошок. Другим параметром є температура займання порошку. Температура займання титанового порошку (пилу) залежить також від дисперсності: чим більше розмір часток, тим вище температура його займання. Наприклад, для порошку титану марки 1Е зі збільшенням крупності фракцій від 13-30 до 160-250 мкм мінімальна температура займання підвищується з до. Температура займання залежить від того, знаходиться порошок (пил) в шарі або в хмарі. У промислових умовах, як правило, виділяється окислена пил (некондиційний порошок) титана,

НКМЗ якої перевищує величину 40, характерну для чистої неокисленого титанової пилу. Проте, відповідно до рекомендації гранично допустимою концентрацією пилу, що підлягає контролю в умовах промислових підприємств, слід вважати концентрацію 20 (т. Е. 50% від значення НКМЗ для титанової пилу), що значно перевищує санітарні норми запиленості (10) і припустимо лише в системах витяжної вентиляції.

Приміщення, де обробляються титанові порошки, повинні бути обладнані вентиляцією. У робочих приміщеннях гранично допустима концентрація титанової пилу в повітрі не повинна перевищувати 10. При технологічних операціях вентиляційні системи для витяжки пилу титанових сплавів не повинні об'єднуватися з вентиляцією для інших агрегатів. У трубопроводах і шлангах для відсмоктування пилу не повинно бути кишень і поглиблень, в яких могла б накопичуватися пил. Вони повинні бути забезпечені запобіжними клапанами, що відкриваються назовні поза вибухонебезпечних і пожежонебезпечних приміщень. Електрообладнання повинно бути у вибухонебезпечному виконанні. Для запобігання накопичення пилу на технологічному обладнанні, стінах і в інших місцях, а також забруднення повітряного середовища на робочих місцях щодня повинна проводитися вологе прибирання або очищення пилососами (у вибухонебезпечному виконанні), а на інших поверхнях - не рідше одного разу в тиждень.

У кожному цеху, де обробляється титан, повинна бути передбачена спеціальна інструкція з пожежної безпеки при роботі з титановими сплавами, з якої повинні бути ознайомлені всі працівники даного цеху. Для попередження пожеж та появи неприпустимих концентрацій вибухонебезпечних продуктів при обробці титанових сплавів з повітряного середовища необхідно регулярно брати проби на визначення концентрації пилу як на робочих місцях, так і в системах витяжки. Для забезпечення вільного доступу до будь-якого можливого осередку займання все пожежні проходи і проїзди в діючих цехах, де обробляються титанові сплави, не повинні бути захаращені. Виробничі приміщення повинні бути забезпечені протипожежними засобами відповідно до вимог.

Рекомендації по гасінню палаючого титану:

Палаючий титан, зокрема титанова стружка, представляє велику небезпеку, а невміле гасіння може викликати додаткові ускладнення. Категорично неприпустимо палаючу стружку поливати водою, так як це тільки посилить горіння і призведе до спалахів і бавовни. Засипка вогнища звичайним піском неефективна. Застосування піни, вуглекислоти, азоту, чотирихлористого вуглецю, хладону, порошоків типу ПСБ і ПІА для гасіння палаючого титану також неприпустимо. Для гасіння палаючих титанових сплавів рекомендується застосовувати порошоків засоби: склад ПГС, глинозем, карналит, мелений плавиковий шпат, сухий порошоків флюс. Ці порошоків можна подавати в осередок загоряння вручну або за допомогою вогнегасника ОП-100, заправленого спеціальними порошоківими засобами гасіння і забезпеченого успокоителем. Запас порошоківих засобів гасіння слід визначати з розрахунку два обсягу коштів на один обсяг стружки, що міститься на робочому місці в

металевому контейнері. Місце зберігання порошкових засобів гасіння повинно бути легко доступним для кожного працюючого. Для ліквідації вогнища пожежі його необхідно висипати твердими сухими приглушують речовинами і додавати їх, поки не буде повністю покритий вогнище пожежі. Слід пам'ятати, що осередок локалізується, але не гаситься в прямому сенсі, тому охолодження і навіть тління можуть бути тривалими. Для гасіння загоряння в контейнері можна застосовувати аргон в балонах, які використовуються для зварювання титанових сплавів. Контейнер повинен бути забезпечений пристосуванням для подачі газу в нижню частину контейнера.

3.5 Екологія і обробка титанових сплавів

Титан і сплави на його основі в принципі не шкідливі в природі. Про токсичності титану або відходів його виробництва відомостей не виявлено. Більш того, титан або метал нешкідливий для тканин організму людини, тому застосовується як конструкційний трансплантат. Менш вивчені хімічні сполуки титану, хоча поки ніяких тривожних сигналів про їх шкідливість в природі немає. Одними з найбільш важливих при обробці титанових сплавів є питання утилізації відходів. Пряме використання відходів в металургії титану не завжди можливо з огляду на їх забрудненості і необхідності попередньої обробки. Найбільш прийнятні для використання в металургії великі кускові відходи, найменш придатна стружка від механічної обробки. Взагалі подрібнені відходи є найбільш забрудненими і при їх переплавки титан сильно охрупчується. Внаслідок цього збір і зберігання титанових відходів вимагають суворої регламентації: по маркам сплавів, по крупності шматків, по окисленості і забрудненості (особливо стружки). Так як в машинобудуванні спеціалізованих виробництв титанової продукції поки немає. А виготовлення деталей і конструкцій з титану носить найчастіше епізодичний характер (вони виробляються малими серіями). Правила збору і зберігання титанових відходів порушуються: марки сплавів змішуються, сортність відходів не дотримується, а найбільш численні відходи - стружка - забруднюються і часто стають практично непридатними для використання в металургійному виробництві. Найбільш низькі сорти стружки можна використовувати (хоча і з малою економічною ефективністю) у виробництві феро-титану. Але в деяких випадках титанову стружку внаслідок недбалого поводження призводять в повну непридатність: змішують її не тільки з брудом, але і з землею, створюють так звані Стружкові відвали, що призводить не тільки до великих матеріальних втрат, а й до засмічення заводської території.

Змішування титанової стружки зі сталеву неприпустимо, оскільки попадання титанової стружки в скраб для виплавки стали в чорній металургії може порушити нормальне ведення плавки. Проблема наведення порядку з відходами в титановому виробництві в даний час стає особливо актуальною, так як використання титану доходить до десятків тисяч тонн, а зважаючи на малу

серійності виробництва в відходи йде більше 50% дорогого оброблюваного металу.

Відзначимо деякі операції обробки титанових сплавів, що порушують екологічну чистоту. У багатьох випадках обробка титану пов'язана з видаленням окалини зіпсованого (альфірованного) поверхневого шару. Видалення цього загазованого шару часто проводиться лужним або кислотним травленням. Кислотні або лужні відходи травителів необхідно нейтралізувати і знешкодити. Травителями титану є їдкі кислоти - плавикова, сірчана і азотна кислота або лужні солі калію і натрію, тому необхідно застосовувати очисні споруди, які не завжди на конкретних заводах є. Сварка титану, як правило, вимагає підвищеної витрати промислової води для охолодження зварювального устаткування і застосування інертних газів, які не завжди є нешкідливими для оточуючих [4].

Науково-дослідний розділ

4.1 Аналіз робіт по оптимізації процесів різання титанових сплавів

Перед написанням даної магістерської роботи були проаналізовані роботи стосуються оптимізації процесів різання титанових сплавів. Аналіз деяких з них наведено нижче.

У дисертаційній роботі на тему «Підвищення ефективності виготовлення деталей з титанових сплавів» Короп А.Д. (БГТУ ім. В.Г. Шухова, г. Белгород, РФ, 2011 р) представлена методика визначення оптимальних параметрів операції механічної обробки, що забезпечують підвищення ефективності виготовлення деталей з титанових сплавів при фрезеруванні. У цій роботі розроблена математична модель оптимізації операції фрезерної обробки титанових сплавів, отримана методика призначення оптимальних режимів різання при фрезеруванні титанового сплаву, визначено вплив параметрів операції механічної обробки титанових сплавів на її ефективність. Обсяг знімається припуску при фрезеруванні займає перше місце за кількістю серед механічних обробок деталей. Так як обсяг знімається припуску при токарних операціях стоїть на другому місці після фрезерування слід і для даної операції розробити математичну модель оптимізації.

Дисертаційна робота на тему «Підвищення продуктивності торцевого фрезерування титанових сплавів за рахунок застосування високошвидкісного різання» Кирюшин Д. Є. (СГТУ р Саратов 2007) написана з метою підвищення продуктивності торцевого фрезерування титанових сплавів за рахунок застосування високошвидкісного різання, верстатів підвищеної жорсткості і нових високопродуктивних інструментальних матеріалів з дрібнозернистою структурою. У ній розроблений комплекс взаємопов'язаних моделей, що описують особливості процесу високошвидкісної обробки титанових сплавів, оптимізовані режими високошвидкісного фрезерування сплавів на основі титану з урахуванням розроблених технологічних обмежень, що враховують теплової фактор і різновиди зносу ріжучого інструменту, характерні для даного типу обробки.

В роботі старшого Д.В. (ІГТУ р Іжевськ 2006 року) «Удосконалення процесу шліфування титанових сплавів переривчастими колами на базі математичного моделювання механіки і теплофізики процесу» представлено рішення актуальної наукової задачі вдосконалення технологічного процесу шліфування титанових сплавів за рахунок застосування переривчастих шліфувальних кругів, що забезпечують проникнення СОТС в зону різання. Були сформульовані наступні наукові висновки: розроблений алгоритм і методика вибору режимів різання і характеристик переривчастого кола при шліфуванні титанових сплавів, що забезпечує оптимізацію, механічних, гідродинамічних і теплофізичних процесів, що відбуваються в зоні різання, визначені технологічні можливості інструмента, що враховують вплив розмірів виступів і западин, а

також стан робочої поверхні круга (знос його зерен) на якість обробленої поверхні.

Дисертація Васильєва А. А. (ГОУ ВПО «ВГАСУ» м Волгоград 2008 року) «Удосконалення процесу плоского глибокого шліфування титанових сплавів з використанням високопористого абразивного інструменту» розглядає підвищення ефективності глибокого шліфування титанових сплавів високопористим абразивним інструментом з карбіду кремнію шляхом вдосконалення його рецептури і процесу шліфування.

4.2 Висновки, постановка мети і завдань дослідження

Висновок роботи: в даний час підвищення ефективності виготовлення деталей з титанових сплавів є актуальним завданням, а існуючі технології обробки титанових сплавів не містять методик призначення оптимальних режимів різання титанових сплавів при точінні. Виходячи з цього сформульована мета і завдання роботи.

Мета роботи: оптимізація режиму різання механічної обробки, для підвищення ефективності виготовлення деталей з титанових сплавів.

Перелік завдань:

1. Визначення параметрів механічної обробки титанових сплавів
2. Розробка математичної моделі оптимізації режиму різання титанового сплаву. Оптимізація режиму різання.
3. Визначення впливу параметрів механічної обробки титанових сплавів на її ефективність.

4.3 Математичне моделювання процесу точіння титанових сплавів

Визначення параметрів механічної обробки при точінні титанових сплавів

В якості програмного забезпечення при математичному моделюванні процесу точіння титанових сплавів застосовуємо програму Mathcad 14. Нижче викладені основні переваги даної програми по відношенню до інших.

Mathcad 14 є математичним редактором, що дозволяє проводити різноманітні наукові та інженерні розрахунки, починаючи від елементарної арифметики і закінчуючи складними реалізаціями чисельних методів.

Користувачі Mathcad 14 - це вчені, інженери, різноманітні технічні фахівці. Завдяки простоті застосування, наочності математичних дій, великій бібліотеці вбудованих функцій і чисельних методів, можливості символічних обчислень, а також чудовій апарату представлення результатів (графіки самих різних типів, потужних засобів підготовки друкованих документів і Web-сторінок), Mathcad 14 став найбільш популярним математичним додатком. Mathcad 14 на відміну від більшості інших сучасних математичних додатків, побудований відповідно до принципу WYSIWYG ("What You See Is What You Get" - "що Ви бачите, то і отримуєте"). Тому він дуже простий у використанні, зокрема, через

відсутність необхідності, спочатку писати програму, що реалізовує ті чи інші математичні розрахунки, а потім запускати її на виконання. Замість цього достатньо просто вводити математичні вирази за допомогою вбудованого редактора формул, причому у вигляді, максимально наближеному до загальноприйнятого, і тут же отримувати результат. Крім того, можна виготовити на принтері друкарську копію документа або створити сторінку в Інтернеті саме в тому вигляді, який цей документ має на екрані комп'ютера при роботі з Mathcad 14.

Творці Mathcad 14 зробили все можливе, щоб користувач, що не володіє спеціальними знаннями в програмуванні (а таких більшість серед учених і інженерів), міг в повній мірі долучитися до досягнень сучасної обчислювальної науки і комп'ютерних технологій. Для ефективної роботи з редактором Mathcad 14 достатньо базових навичок користувача.

З іншого боку, професійні програмісти можуть витягти з набагато більше, створюючи різні програмні рішення, істотно розширюють можливості, безпосередньо закладені в Mathcad 14.

Відповідно до проблемами реальному житті, доводиться вирішувати одну або кілька з таких завдань:

- введення на комп'ютері різноманітних математичних виразів (для подальших розрахунків або створення документів, презентацій, Web-сторінок);
- проведення математичних розрахунків;
- підготовка графіків з результатами розрахунків;
- введення вихідних даних і виведення результатів в текстові файли або файли з базами даних в інших форматах;
- підготовка звітів роботи у вигляді друкованих документів;
- підготовка Web-сторінок і публікація результатів в Інтернеті;
- отримання різної довідкової інформації з області математики.

З усіма цими (а також деякими іншими) завданнями з успіхом справляється Mathcad 14:

- математичні вирази і текст вводяться за допомогою формульного редактора Mathcad 14, який за можливостями і простоті використання не поступається, наприклад, редактору формул, вбудованому в Microsoft Word;

- математичні розрахунки проводяться негайно, відповідно до введених формулами;

- графіки різних типів (за вибором користувача) з багатими можливостями форматування вставляються безпосередньо в документи;

- можливе введення і виведення даних в файли різних форматів;

- документи можуть бути роздруковані безпосередньо в Mathcad 14 в тому вигляді, який користувач бачить на екрані комп'ютера, або збережені в форматі RTF для подальшого редагування в могутніших текстових редакторах (наприклад, Microsoft Word);

- можливе збереження документів у форматі Web-сторінки, причому створення файлів з малюнками відбувається автоматично;

- символні обчислення дозволяють миттєво отримати різноманітну довідкову математичну інформацію, а система допомоги, Центр Ресурсів і вбудовані електронні книги допомагають швидко відшукати потрібну довідку або приклад тих чи інших розрахунків.

Таким чином, слід добре уявляти собі, що до складу входять кілька інтегрованих між собою компонентів - це потужний текстовий редактор для введення і редагування як тексту, так і формул, обчислювальний процесор - для проведення розрахунків згідно введеним формулам, і символний процесор, який є, по суті, системою штучного інтелекту. Поєднання цих компонентів створює зручну обчислювальну середу для різноманітних математичних розрахунків і, одночасно, документування результатів роботи.

Вихідні дані для розрахунку параметрів механічної обробки:

- опрацьований матеріал - титановий сплав VT22;
- діаметр заготовки $d = 140$ мм;
- оброблюваний діаметр $D = 150$ мм;
- необхідна стійкість інструменту $T = 45$ хв;
- інструмент - розточний різець з твердосплавних пластиною VK8;
- обладнання - токарний верстат з ЧПК C830BE.

1. Розрахунок глибини різання:

$$t = \frac{D - d}{2} \text{ (мм)} \quad (2.1)$$

2. Подача S визначається по [1, ст. 69, табл. 21], в залежності від глибини різання і діаметра оброблюваної поверхні.

3. Відповідно до теорії різання [3, ст. 261], рекомендована швидкість різання визначається за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^{m_v} \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v}} \cdot K_v \text{ (м/мин)} \quad (2.2)$$

де, K_v, x_v, y_v, m_v - коефіцієнти, що залежать від виду оброблюваного матеріалу і матеріалу ріжучої частини інструменту. Коефіцієнти приймаються за рекомендаціями [1, ст. 75, табл. 29].

- поправочний коефіцієнт на швидкість в залежності від матеріалу заготовки, приймаємо по [1, ст. 88, табл. 66].

4. Після визначення швидкості різання виробляється обчислення частоти обертання шпинделя по формулі:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \text{ (об/мин)} \quad (2.3)$$

де, V - швидкість різання, м / хв;
 D - діаметр оброблюваної поверхні, мм.

5. Обчислення сили різання

Силу різання розраховується за формулою [3, ст. 271]:

$$P_z = 10 \cdot C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot V^{n_{pz}} \text{ (Н)} \quad (2.4)$$

де $Vn, x_{pz}, y_{pz}, n_{pz}$ - коефіцієнти, що залежать від виду оброблюваного матеріалу і матеріалу ріжучої частини інструменту. Коефіцієнти приймаються за рекомендаціями [1, ст. 75, табл. 29].

6. Розрахунок потужності різання

Потужність різання розраховується за формулою [3, ст. 271]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 102} \text{ (кВт)} \quad (2.5)$$

Для визначення параметрів механічної обробки при точінні титанових сплавів доцільно використовувати алгоритм, блок-схема якого представлена на малюнку 2.1.

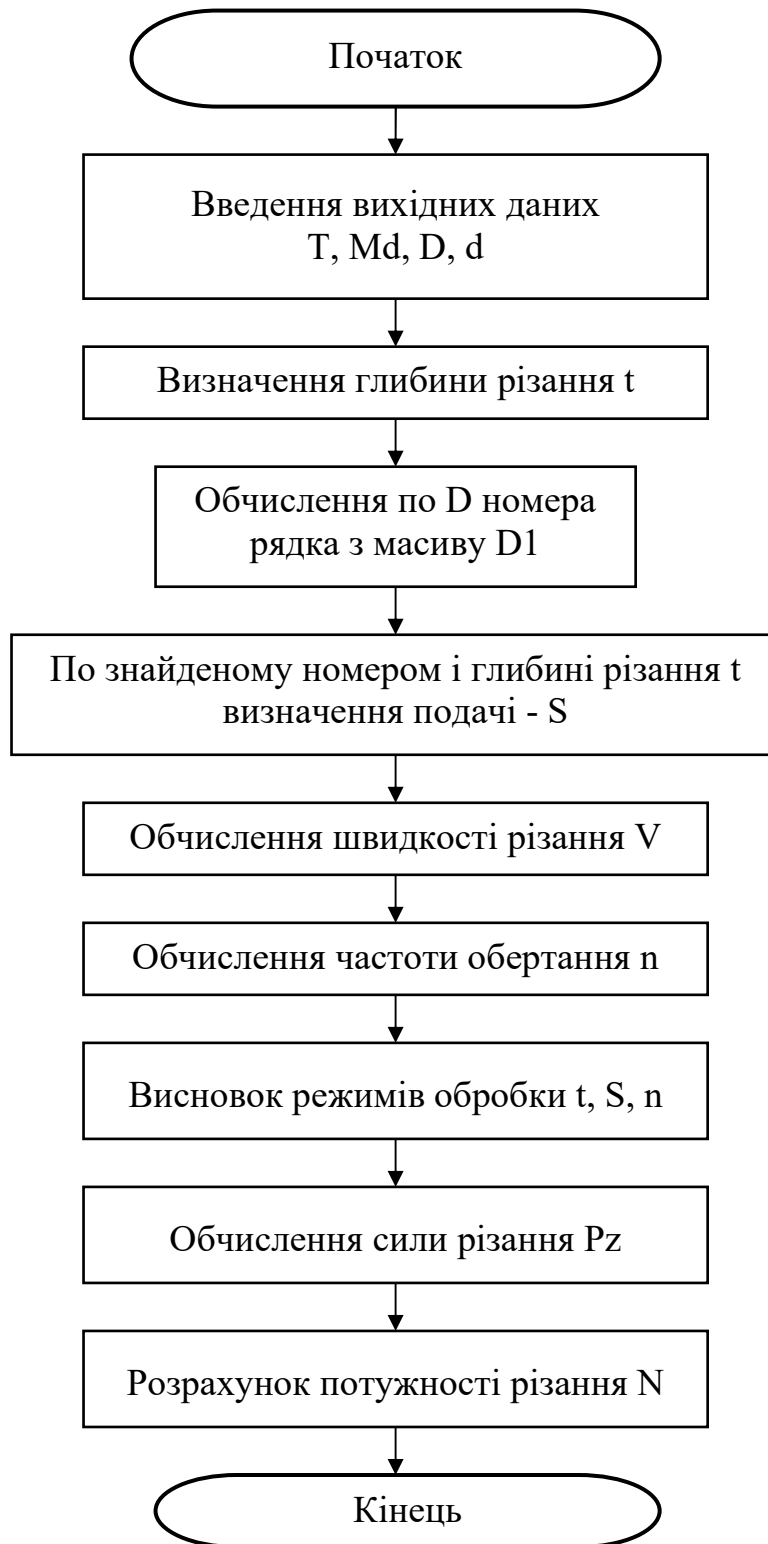


Рис. 2.1 - Блок-схема програми параметрів механічної обробки титанових сплавів

Лістинг програми наведено в Додатку 1

4.4 Розробка математичної моделі процесу точіння титанових сплавів

Вибір методу математичного програмування процесу точіння титанових сплавів

При вирішенні конкретної задачі оптимізації перш за все треба вибрати математичний метод, який давав би до кінцевих результатів з найменшими витратами на обчислення або ж давав можливість отримати найбільший обсяг інформації про шуканий вирішенні. Вибір того чи іншого методу в значній мірі визначається постановкою оптимальної завдання, а також використовуваної математичною моделлю об'єкта оптимізації.

В даний час для вирішення оптимальних задач застосовують в основному такі методи:

- методи дослідження функцій класичного аналізу;
- методи, засновані на використанні невизначених множників Лагранжа;
- варіаційне числення;
- динамічне програмування;
- принцип максимуму;
- лінійне програмування;
- нелінійне програмування.

Методи нелінійного програмування застосовують для вирішення оптимальних задач з нелінійними функціями мети. На незалежні змінні можуть бути накладені обмеження також у вигляді нелінійних співвідношень, що мають вигляд рівності або нерівностей. По суті методи нелінійного програмування використовують, якщо жоден з перерахованих вище методів не дозволяє скільки-небудь просунути у вирішенні оптимальної завдання. Тому зазначені методи іноді називають також прямими методами вирішення оптимальних задач. Для отримання чисельних результатів важливе місце відводиться нелінійного програмування і в рішенні оптимальних задач такими методами, як динамічне програмування, принцип максимуму і т. П. На певних етапах їх застосування [5]. Нелінійне програмування (NLP, англ. NonLinear Programming) - розділ математичного програмування, що вивчає методи вирішення екстремальних задач з нелінійної цільової функцією і (або) областю допустимих рішень, певною нелінійними обмеженнями. На відміну від завдання лінійного програмування, в завданню програмування нелінійного оптимум не обов'язково лежить на кордоні області, певної обмеженнями.

Нелінійні задачі складні, часто їх спрощують тим, що призводять до лінійних. Для цього умовно приймають, що на тій чи іншій ділянці цільова функція зростає або убиває пропорційно зміні незалежних змінних.

У короткій формі завдання нелінійного програмування можна записати так:

$$F(x) \longrightarrow \max \text{ при умовиях } g(x) \leq b, x \geq 0$$

де, x - вектор шуканих змінних;

$F(x)$ - цільова функція;

$g(x)$ - функція обмежень (безперервно диференціюється);

b - вектор констант обмежень (вибір знака \leq в першій умові тут довільний, його завжди можна змінити на зворотний).

Рішення задачі нелінійного програмування (глобальний максимум або мінімум) може належати або кордоні, або внутрішньої частини допустимого безлічі.

Інакше кажучи, завдання полягає у виборі таких невід'ємних значень змінних, підпорядкованих системі обмежень у формі нерівностей, при яких досягається максимум (або мінімум) даної функції. При цьому не обумовлюються форми ні цільової функції, ні нерівностей. Можуть бути різні випадки: цільова функція нелінійна, а обмеження лінійні; цільова функція лінійна, а обмеження (хоча б одне з них) нелінійні; і цільова функція, і обмеження нелінійні.

Завдання, в яких число змінних i (або) число обмежень нескінченно, називаються завданнями бесконечномерного нелінійного програмування. Завдання, в яких цільова функція і (або) функції обмежень містять випадкові елементи, називаються завданнями стохастичного нелінійного програмування.

Для вирішення поставленого завдання нелінійного програмування застосовується ефективні чисельні методи оптимізації - це методи наближеного або точного рішення математичних задач оптимізації, що зводяться до виконання кінцевого числа елементарних операцій над числами.

Також використовується оптимальна модель, методами математичного програмування, т. Е. Шляхом пошуку максимуму або мінімуму деяких функцій або функціоналів при заданих обмеженнях (умовна оптимізація) і без обмежень (безумовна оптимізація). Оптимальна модель охоплює певну кількість варіантів (технологічних способів) виробництва, розподілу чи споживання і призначена для вибору таких значень змінних, що характеризують ці варіанти, щоб був знайдений кращий з них.

Після визначення технологічних обмежень зводимо нерівності і рівняння цільової функції в одну систему. Перехід до лінійної системи здійснюється логарифмування.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Об'єкт дослідження – процеси механічної обробки деталі «Втулка» зі сталі Х12Ф1.

Предмет дослідження – основний час обробки деталі «Втулка» на верстатному обладнанні з ЧПК.

Методика досліджень – комп'ютерне моделювання операцій на основі САМ-програми *FeatureCAM Ultimate 2021*.

В роботі обґрунтовано конструктивні та технологічні особливості деталі «Втулка», описано та охарактеризовано середовище, в якому деталь працює. Зроблено аналіз технологічності деталі «Втулка», обрано найбільш відповідальні поверхні. Обрано заготовку для деталі «Втулка», показано методи обробки поверхонь деталі, обрано найдоцільніше верстатне обладнання, розроблено маршрут механічної обробки деталі. Обрано сучасний ріжучий та вимірювальний інструмент. Обрано режими різання та норми часу для операцій на верстатному обладнанні.

Виконано розрахунок комбінованої шліцьової протяжки для обробки шліцьового отвору в деталі «Втулка».

В науково-дослідницькому розділі виконаний аналіз інтеграції програмного комплексу Autodesk у існуючий технологічний процес, з корегуванням режимних параметрів наукової бази ISCAR <https://www.imc-i.com/mpwr/Milling/MachiningPower/TSlot/Serrated>. Надані практичні рекомендації щодо оптимальної траєкторії обробки деталі при механічній обробці та постпроцесуванні в САМ системі FeatureCAM.

В результаті проведених досліджень встановлені оптимізовані алгоритми технології обробки деталі «Втулка», що забезпечили підвищення її якості, в першу чергу поверхні по 7 квалітету і з шорсткістю Ra 0,8.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева, В. О. Маслова; Український державний університет залізничного транспорту – Харків, 2020. – 387 с.
2. Сайт компанії «URACA»; «Високонапірні насоси з високим механічним ККД.» / <https://www.uraca.com/ru/infocentr/noukhau/konstrukcijaplunzhernogonaso/> : «URACA» , 2020.;
3. Сайт компанії «ВАРИТЕК» С. «Токарні верстати з ЧПК з подвійним шпинделем» / Сайт компанії «ВАРИТЕК» // <https://varitec.com.ua/stanki/tokarnye-stanki-s-chpu-doosan/tokarnye-stanki-s-chpu-s-dvojnym-shpindel'em/tokarnye-stanki-doosan-s-dvojnym-shpindel'em-serii-puma-tw2100-tw2100-gl-tw2600-tw2600-gl-ts2600-ts2600-gl/> : «ВАРИТЕК» , 2018.;
4. PRADA NARGESA SL P. «Вертикальні протяжні верстати» / PRADA NARGESA SL // <https://www.nargesa.com/ru/stankovdlyametalobrabotki/vertikalnyy-protyazhnoy-standok-bm25/> – Іспанія, 2017.;
5. Каталог інструментів «Taegutec».; <https://taegutec.com.ua/category/produkcija/metallorzhushhij-instrument/>
6. Vogel «Вимірний інструмент » // <http://www.rezec.in.ua/izmeritelnyj-instrument> – Німеччина : Vogel, 2019.
7. Дідик Р.П. Технологія гірничого машинобудування [Підручник] / Р.П. Дідик, В.А. Жовтобрюх, С.Т. Пацера; під загальною редакцією докт. техн. наук, проф. Дідика Р.П. - Д., НГУ, 2016. - 424 с.;
8. В. Климова О. «Розрахунок шліцьової комбінованої протяжки» / О. В. Климова, О. П. Галактионова, Ю. И. Тулаев ; УГТУ–УПИ – Екатеринбург : О. В. Климова, 2008 . – 158 с.
9. Informdom.com «САМ-система FeatureCAM: / www.informdom.com // <https://www.informdom.com/metalloobrabotka/2015/2/cam-sistema-featurecam-2015r2-vozmozhnosti-novoi-versii.html> : www.informdom.com, 2017.

