

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
Механіко-машинобудівний
(факультет)

Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Савчука Андрія Романовича
(ПІБ)

академічної групи 131М-20Н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і назва спеціальності)

спеціалізації за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»
(офіційна назва)

на тему: «Підвищення ефективності механічної обробки деталей з жароміцних сплавів»
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Кваліфікаційної роботи	Дербаба.В.А			
Розділів				
Аналітичний	Дербаба В.А			
Спеціальний	Дербаба В.А			
Науково-дослідницький	Дербаба В.А			
Рецензент	<u>Корсун В.І</u>			
Нормоконтролер	<u>Проців В.В.</u>			

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

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
Технологій машинобудування та матеріалознавства
(повна назва)

В.В. Проців
(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

студенту Савчук А.Р. академічної групи 131М-20Н-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-професійною програмою _____
Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва
(офіційна назва)

на тему **Підвищення ефективності механічної обробки деталей з жароміцних сплавів**

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

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналітичний	Аналіз технологічності конструкції деталі. Додається 2D-кресленик деталі (A2) та 2D-кресленик заготовки (A2)	Лютий 2022 р.
Технологічний	Автоматизована розробка технологічного процесу обробки деталі. Додається 3D-модель деталі, Графічний матеріал з налаштуваннями технології (A1)	Березень 2022 р.
Спеціальний	Проект різцевої головки для нарізання зубчастого вінця з круговими зубцями. Додається графічний матеріал з із складальним креслеником різцевої головки (A1)	Квітень 2022 р.
Науково-дослідницький	Алгоритм застосування принципу модульності у автоматизованому проектуванні технології обробки конічного колеса з круговими зубцями. Додається графічний матеріал з алгоритмічною моделлю (A1 два листа)	Квітень 2022 р.

Завдання видано _____
(підпис керівника)

Дербаба В.А
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 12.01.2022 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії 30.05.2022 р.

Прийнято до виконання _____ **Чорний Б.О**

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 52 с, 16 рис, 29 табл, 26 джерел посилань.

Тема «Підвищення ефективності механічної обробки деталей з жароміцних сплавів».

Комплект технологічної документації на аркушах в формі маршрутно-операційного технологічного процесу на деталі. Графічна частина проекту розташована на сьомих аркушах формату А1.

Об'єкт проектування: технологічна підготовка виробництва деталі «Фланець» в організаційно-технічних умовах серійного виробництва, з використанням верстатів з ЧПК а розрахунками у САЕ системі.

Мета дипломного проекту: введення САЕ системи до автоматизації проектування ливарної заготовки при розробці операційного технологічного процесу для виготовлення деталі «Фланець».

Аналітичний розділ проекту містить характеристику об'єкта виробництва, обґрунтування застосованих матеріалів та вимог до точності поверхонь, а також якісний аналізи технологічності конструкції деталі.

В технологічному розділі виконано комплекс робіт технологічного проектування, спрямованих на розробку маршрутно-операційного процесу механічної обробки та підготовлені данні для оформлення комплекту технологічної документації.

Спеціальний розділ складається з інформації проектування спеціального пристосування.

Науково-дослідний розділ відображає алгоритм та оптимізацію роботи проектування ливарної заготовки та розрахунок навантажень у САЕ системі SOLIDWORKS.

Об'єктом дослідження в дипломному проекті є використання САЕ систем на прикладі SOLIDWORKS Simulation.

Практичне значення проекту полягає в використанні компютерних технологій у процесі моделювання, розрахунках та знання з верстатів з ЧПК у виробництві.

ТЕХПРОЦЕС, ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, ЗАГОТОВКА, ОБРОБКА, ПРИПУСК, ОПЕРАЦІЯ, ВЕРСТАТ, ПРИСТРІЙ, ЛИТТЯ, САЕ СИСТЕМА

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 «Опорний фланець» в CAD / CAM-системі
- 2.2 Обґрунтування вибору деталі «Опорний фланець» для моделювання процесу точіння
- 2.3 Проектування деталі «Опорний фланець»
- 2.4 Моделювання процесу точіння деталі «Опорний фланець»

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

Технічний прогрес в машинобудуванні привів до появи нових важкооброблюваних матеріалів, що володіють високою питомою міцністю, жароміцних, корозійну стійкість, пасивністю по відношенню до органічних і багатьом неорганічним кислотам і іншими спеціальними властивостями. Чільне місце серед них належить титанових сплавів, які мають цілим комплексом важливих фізичних, механічних і хімічних властивостей, що вигідно відрізняють їх від сплавів на основі заліза, нікелю, магнію, алюмінію та інших металів.

За останні десятиліття сплави на основі титану стали одними з найважливіших конструкційних матеріалів. Унікальне поєднання високої питомої міцності і корозійної стійкості в багатьох агресивних середовищах визначило їх застосування в різних областях техніки. Широке застосування титанових сплавів стримується їх високою вартістю, що обумовлено не тільки дорогим вихідною сировиною, а й великими технологічними труднощами при виробництві напівфабрикатів деталей і виробів.

В даний час 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.

Одним із шляхів продуктивності механічної обробки титанових сплавів є впровадження оптимізації процесу різання. Практика показує, що застосування

оптимізації для обробки деталей дозволяє домогтися підвищення ефективності виробництва і отримувати вироби високої якості.

Підвищення ефективності виготовлення деталей з титанових сплавів, спрямоване на раціональне використання наявного обладнання та інструменту за рахунок пошуку оптимальних параметрів операції механічної обробки, в даний час є актуальним завданням для підприємств космічної та авіаційної промисловості.

Рішення даного завдання дозволить, в кінцевому рахунку, знизити собівартість і підвищити конкурентоспроможність продукції.

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 «Опорний фланець» в CAD / CAM-системі. Для проектування деталі застосовується програмний комплекс Delcam PowerShape, а для моделювання процесу точіння деталі застосовується програмний комплекс Delcam FeatureCAM.

У четвертому розділі приведена техніка безпеки при обробці титанових сплавів, проаналізовано пожежна безпека титанових сплавів.

У висновку магістерської роботи сформульовані загальні висновки по ефективності застосування оптимізації параметрів механічної обробки при точінні титанових сплавів.

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

Аналітичний розділ

1.1 Огляд стану питання і постановка задачі

Загальні відомості про титана і титанових сплавах і їх класифікація

ваг
 $T_{кр}$
4,3
коп
роі
ни
ра:
по
50
реш
мо
88%
на
мо
Ви
крі

мна
}°С,
зно
оку
ість
має
в 4
гурі
ще
ним
рна
від
при
рна
ГУ).
чну

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

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.

«П
"ти
тип
Вс
роз
тип
ств
тех
ВТ
ВТ
літ
350
ма
ста
міг

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

»,
ово
вує
я у
що
кій
ією
сам
і) і
}-1,
для
до
зня
зно
ону
в і

коф...
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 («Прометеевский 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)

Т	В	М	С
с			
<div style="border: 2px solid red; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.</p> </div>			
α – сплави	до 0,25	AT8	7,0% Al + 1,5% (Fe, Cr, Si, B)
		OT4–0Y	1,0% Al + 1,0% V+ до 0,9% Fe
		OT4–1Y	2,0% Al + 2,0% V + до 0,9% Fe
		OT4–Y	4,0% Al + 2,5% V+ до 0,9% Fe
		BT4–Y	5,0% Al + 2,5% V+ до 0,9% Fe
		OT4–2Y	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
(α + β) – сплави мартенситного 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
(α + β) –	1,0–1,4	BT22	5,0% Al+5,0% Mo+5,0% V +1,0% Cr + 1,0% Fe

сплави		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

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

- 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 моторобудівними 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 навантаженням
- 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 титаномісткими. 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 повітрозабірника, 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, VT18У, VT25, VT25У.

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 згоряння, 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 ДСТУро 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 VT6, VT6C, але оскільки немає потреби збільшувати міцність металу для виготовлення ювелірних виробів, найбільш підходящим є чистий титан VT1-0. При термічній обробці титанові сплави в певних лугах VT6, VT20, VT22, VT23, OT4, OT4-1, VT16, VT3-1, VT5, VT5-1, 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

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

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

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 щільність, 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.

6. Жароміцність. Титанові сплави зберігають свою міцність при високих температурах до $600 \dots 700^{\circ}\text{C}$, в той час як міцність більшості алюмінієвих сплавів різко падає вже при 300°C . Їх використовують для виготовлення деталей, що працюють при високих температурах.

7. Титан - парамагнітний метал, дуже вигідний для деталей навігаційних приладів. У парамагнітних речовин магнітна сприйнятливості при нагріванні зазвичай зменшується. Титан є винятком з цього правила - його сприйнятливості істотно збільшується з температурою.

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 атмосфери, 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.

8. Модулі пружності титану невеликі і виявляють істотну анізотропію. З підвищенням температури до 350°C модулі пружності зменшуються майже за лінійним законом. Невелике значення модулів пружності титану - істотний його недолік, тому що в деяких випадках для отримання досить жорстких конструкцій доводиться застосовувати великі перетину виробів в порівнянні з тими, які впливають з умов міцності.

1.4 Особливості механічної обробки титанових сплавів

Титан і його сплави погано обробляються різанням, що обумовлено рядом

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

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 ДСТУрінням 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.

Розрізання заготовок з титанових сплавів, що здійснюється зазвичай абразивним кругом, лезовий інструментом представляє значні труднощі, пов'язані як з інтенсивним зносом інструменту, так і невисокою (а в ряді випадків навіть з низькою) продуктивністю.

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.

Титан і його сплави щодо обробки різанням схожі на нержавіючу сталь. При механічній обробці титанових сплавів необхідно дотримуватися таких правил:

1. Інструмент повинен бути завжди жорстко закріплений для запобігання надмірній вібрації.

2. Повинен застосовуватися ДСТУрий інструмент. При безперервному різанні виправдав себе інструмент з карбіду вольфраму, тоді як при переривчастому різанні рекомендується швидкорізальний інструмент (з вмістом кобальту 7-8%). Для обробки високоміцних титанових сплавів потрібно інструмент з карбіду хрому на кобальтової основі.

3. Для усунення ковзання ріжучого інструменту по деталі слід застосовувати постійну подачу. Підвищення стійкості досягається безперервним різанням. Переривчасте різання знижує стійкість інструменту.

4. Для зменшення налипання і задирання, а також для відведення тепла, що виділяється при різанні титану, рекомендується застосовувати відповідні охолоджуючі рідини.

Важливою особливістю механічної обробки деталей з титанових сплавів є необхідність забезпечення ресурсних, особливо втомних, характеристик, які у вирішальній мірі обумовлені якістю поверхневого шару, що утворюється після обробки різанням. Внаслідок низької теплопровідності і високої хімічної активності оброблюваного матеріалу застосування шліфування як процесу фінішної обробки для титанових сплавів обмежена. При шліфуванні титанових сплавів легко утворюються прижоги, які істотно знижують міцність від втоми. Крім того, при шліфуванні в поверхневому шарі виникають залишкові напруги розтягнення і дефектні структури, також знижують міцність від втоми. Тому шліфування, якщо воно використовується при обробці деталей з титанових сплавів, має проводитися при знижених швидкостях і по можливості замінюватися лезвийної обробкою, або низькошвидкісними методами абразивної обробки, такими, наприклад, як хонингование. Якщо ж застосовується шліфування, воно повинно виконуватися при строго регламентованих режимах з подальшим контролем на відсутність пріжогов і супроводжуватися зміцненням поверхневим пластичним деформуванням (ППД).

При виготовленні деталей і конструкцій з титанових сплавів застосовують всі види механічної обробки: точіння, фрезерування, свердління, шліфування, полірування. Найбільш трудомістким процесом при виготовленні деталей є фрезерування. На другому місці по трудомісткості варто точіння.

Загальні принципи механічної обробки титанових сплавів - це зниження швидкості різання і застосування інструментів з твёрдосплавними напайками типу ВК (ВК-3, ВК-4, ВК-8 та ін.). Ріжучі інструменти, які важко оснастити твёрдими напайками (свердла невеликих діаметрів, мітчики і т. П.), Рекомендується виготовляти зі швидкорізальної сталі (найкраща з них - Р9Ф5). Титановольфрамове твёрді сплави не придатні для оснащення ріжучих інструментів, призначених для обробки титанових сплавів.

де
ш
сп
го
ре
ф
рі:
S:
пс
сп

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

хні
у з
дих
овж
, на
лані
вної
т/хв;
ня і
ки і
цені
при
8Т,
5ині

різання $t = 0,1 - 1,0$ мм. Геометричні параметри відрізняються від наведених для чорнового точіння лише величинами переднього кута на фаске і кута нахилу головної різальної крайки, які приймаються рівними відповідно $\gamma = 0...5^\circ$ і $\lambda = 0^\circ$.

Можливо, також при напівчистове і чистовому точінні застосування інструменту зі швидкорізальної сталі (P9K5, P6M5K5, P9M4K8). Рекомендовані геометричні параметри різців з швидкорізальної сталі: задній кут $\alpha = 10^\circ$, головний кут $\phi = 15^\circ$ в плані, радіус при вершині різця $r = 1$ мм. Режими різання при точінні титану $V = 24 - 30$ м/хв, $S < 0,2$ мм, глибина різання $t = 0,5 - 3,0$ мм [2, ст. 195].

Для збільшення продуктивності механічної обробки титанових сплавів різанням і підвищення стійкості ріжучого інструменту застосовують галлоїдосодержащіе змазує-охолоджуючі рідини типу P3 MOR-8. Точіння рекомендується проводити з подачею охолоджувальної рідини під тиском 1-1,5 МПа знизу струменем, спрямованої в щілину між оброблюваної поверхнею і ріжучої крайкою інструменту [4]. Охолодження оброблюваних деталей здійснюють методом рясного поливу. Використання галлоїдосодержащіе рідин при механічній обробці призводить до утворення на поверхні титанових деталей сольовий кірки, яка при підвищених температурах і одночасній дії напружень викликає сольову корозію. Тому деталі, оброблювані із застосуванням P3 MOR-8, після механічної обробки піддають облагороджує травленню зі зняттям поверхневого шару завтовшки 0,005-0,010 мм. При складальних і механоскладальних операціях не допускають застосування P3 MOR-8.

Технологічний розділ

2.1 Моделювання деталі «Опорний фланець» в CAD / CAM-системі

Аналіз CAD / CAM-систем

У дослівному перекладі термін CAD / CAM (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 CAD-системою.

Якщо CAD-система при проектуванні вирішує тільки завдання автоматизації отримання комплексу креслярсько-конструкторської документації, то її відносять до класу 2D (тобто «плоских») систем. CAD-система, в якій проектування виконується на основі тривимірних моделей, відноситься до класу 3D (тобто «об'ємних») систем.

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

CAD / CAM-системою називається система, яка забезпечує інтегроване

вання
вання
що їх
лоделі
них з
лення

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

Рис. 2.1 – Застосування моделі виробу

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 елементу 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, пересічними в просторі, можна виконувати булеві операції об'єднання, віднімання і перетинання.

Твердотільне моделювання передбачає можливість установки параметричних залежностей між елементами твердого тіла або декількох тіл. При цьому зміна одного з параметрів (наприклад, довжини елемента) призводить до відповідної перебудови всіх параметричних пов'язаних елементів. Таке моделювання, зване параметричних, дає конструктору додаткові зручності. Так, можна встановити параметричні залежності між елементами твердотільної збірки і, тим самим, автоматизувати контроль збирання виробу.

При гібридному моделюванні забезпечується можливість одночасної роботи з твердотільними об'єктами і з поверхнями. При цьому можна «відрізати» поверхню частина твердого тіла, перетворювати замкнутий поверхнями обсяг в тверде тіло і т. П. Гібридне моделювання дозволяє поєднувати всі зручності твердотільного моделювання з можливістю побудови об'єктів як завгодно складної геометричної форми.

У різних CAD / CAM-системах можуть бути реалізовані як деякі з перерахованих типів моделювання, так і всі з них.

Створені моделі можуть передаватися з однієї CAD / CAM-системи в іншу через спеціальні інтерфейси - узгоджені формати даних для обміну інформацією.

Існує ряд так званих стандартних інтерфейсів. Вони мають формат символічних (ASCII) файлів, де опис геометричних і інших характеристик моделі виконується відповідно до прийнятого стандарту. На практиці кожен формат має свої пріоритетні сфери застосування. Так, стандартний формат DXF використовується в основному для передачі креслярсько-графічної інформації;

формат IGES - для передачі геометрії поверхневих моделей; формат STL - для передачі моделі, апроксимувати плоскими елементами, з CAD-системи в САМ-систему або в установку для швидкого прототипування виробів.

У ряді випадків CAD / САМ-системи можуть «розуміти» внутрішні формати один одного, використовувані для представлення моделей. У цьому випадку говорять про наявність прямих інтерфейсів між системами.

Сьогодні в світі пропонується велика кількість різних CAD / САМ-систем, що відрізняються за функціональною потужністю, області застосування, ступеня складності освоєння системи користувачем, вартості. З найбільш поширених в світі CAD / САМ-систем добре відомі Catia, Unigraphics NX, Pro / Engineer, Cimatron, SolidWorks, Delcam PowerShape, Delcam PowerMill, Delcam FeatureCAM. Значних успіхів досягли також системи Компас-3D, Т-Flex, Спрут і ін.

CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) - одна з найпоширеніших САПР високого рівня. Це комплексна система автоматизованого проектування (CAD), технологічної підготовки виробництва (CAM) та інженерного аналізу (CAE), що включає в себе передовий інструментарій тривимірного моделювання, підсистеми програмної імітації складних технологічних процесів, розвинені засоби аналізу і єдину базу даних текстової та графічної інформації. Система дозволяє ефективно вирішувати всі завдання технічної підготовки виробництва - від зовнішнього (концептуального) проектування до випуску креслень, специфікацій, монтажних схем і керуючих програм для верстатів з ЧПУ.

Система Catia має модульну структуру, коли навколо базового ядра формується набір програмних модулів. Модулі згруповані по областям застосування наступним чином:



- Mechanical Design - Механічне проектування
- Shape Design and Styling - Проектування форм
- Product Synthesis - Модулі роботи з базами знань
- Equipment and Systems Engineering - Проектування устаткування і систем
- Plant Design - Проектування інженерних комунікацій
- Analysis - Інженерний аналіз
- NC Manufacturing - Програмування ЧПУ
- Infrastructure - Інфраструктура

NX Unigraphics - це лідируюча CAD / САМ / CAE система, побудована на кращих технологіях, призначених для створення виробів будь-якої складності. Основне завдання системи в кінцевому підсумку полягає в скороченні вартості створення виробу, поліпшення його якості. У Росії і Україні Unigraphics займає міцні позиції, завдяки широким можливостям використання системи в різних областях промисловості (авіакосмічна промисловість, двигунобудування, автомобілебудування, машинобудування і т.д.) і застосування сучасних технологій, що забезпечують користувача передовими рішеннями в області MCAD на всіх етапах створення виробу. Успіх системи Unigraphics на

російському і українському ринках підтверджений великою базою користувачів, успіхами, досягнутими ними в результаті використання системи. Важливою перевагою системи є те, що вона є єдиною CAD / CAM / CAE системою верхнього рівня на ринку, яка має російський інтерфейс і документацію російською мовою.



Рішення NX Unigraphics:

- Промисловий дизайн
- Конструювання (CAD)
- Інженерний аналіз (CAE)
- Проектування оснащення
- Програмування верстатів з ЧПУ (CAM)
- Підготовка виробництва

Pro / Engineer - ця одна з лідируючих в світі САПР (CAD / CAM / CAE / PDM) значно підвищує ефективність роботи над новими проектами в області розробки електронних пристроїв.



На базі Pro / Engineer проектуються корпуси і компонуються елементи плат, проводять конструкторську і технологічну підготовку виробу до виробництва, а також реалізують інженерний аналіз.

Завдяки системі Pro / Engineer значно скорочуються терміни виконання проектів в галузі промислового дизайну. Ця САПР заснована на єдиній базі даних. Зміни автоматично зберігаються на всіх реалізованих етапах. Така особливість Pro / Engineer дозволяє оперативно модифікувати конструкцію без повторного побудови об'єктів.

Ще одна важлива перевага впровадження Pro / Engineer - відкритість цієї САПР і можливості інтеграції з іншими додатками, задіяними на різних етапах розробки електроніки.



Cimatron - розробка компанії Cimatron Ltd. (Ізраїль), заснованої в 1982 р і має дочірні компанії в США, Німеччині, Японії, Китаї, Великобританії, Франції, Індії. Cimatron Ltd. - провідний розробник

інтегрованих процесно-орієнтованих CAD / CAM-рішень для проектування і виготовлення виробів і складної технологічної оснастки - має сьогодні більше 8500 під-приємств-користувачів в різних галузях промисловості, включаючи автомобільну-льну, аерокосмічну, комп'ютерну, електронну, товари широкого потреб-лення, медичну, оптичну, телекомунікаційну, виробництво іграшок та ін. Провідні індустріальні аналітичні компанії оцінюють Cimatron як одного з передових розробників програмного забезпе печення в сфері CAD / CAM-рішень для промислового виробництва.

Можна виділити наступні основні етапи:

- прийом моделі виробу від замовника в форматах Cimatron E або інших CAD-систем;
- створення моделей операційних заготовок (поковок, виливків);

- поділ вихідної моделі на набори форматворчих поверхонь оснастки;
- проектування форматворним оснащенням;
- проектування оснащення другого порядку (електроди та ін.);
- випуск креслярсько-графічної документації;
- розробка керуючих програм (УП) для обладнання з ЧПУ.

SolidWorks - потужний засіб проектування, ядро інтегрованого комплексу автоматизації підприємства, за допомогою якого здійснюється підтримка виробу на всіх етапах життєвого циклу в повній відповідності з концепцією CALS-технологій. Основне призначення SolidWorks - це забезпечення наскрізного процесу проектування, інженерного аналізу та підготовки виробництва виробів будь-якої складності і призначення, включаючи створення інтерактивної документації і забезпечення обміну даними з іншими системами.

SolidWorks є системою гібридного (твердотільного і поверхневого) параметричного моделювання, вона призначена для проектування деталей і зборок в тривимірному просторі (3D проектування), а також для оформлення конструкторської документації.



Модель SolidWorks складається з трьох основних видів - деталей, зборок і креслень. Процес побудови 3D моделі ґрунтується на створенні елементарних геометричних примітивів і виконання різних операцій між ними. 3D модель несе в собі найбільш

повний опис геометричних і фізичних властивостей об'єкта (обсяг, маса, моменти інерції). Твердотільна деталь є основою геометричної моделі будь-якого проекту.

можливості продукту

- обробка «2.5D»;
- трьохосева «3D»;
- «3 + 2» (п'ятиосевої позиційна);
- п'ятиосевої безперервна;
- токарна і токарно-фрезерна;
- сверлильна;
- електроерозійна;
- повна симуляція верстата;
- можливість самостійного постпроцесування.

Delcam PowerSHAPE - потужна система гібридного 3D моделювання для проектування виробів складних форм і для підготовки CAD-моделей під виготовлення. Твердотільне моделювання - це легкі і швидкі операції об'єднання, віднімання і перетинання. Поверхневе моделювання - це необмежена складність просторових елементів і унікальні можливості редагування. Найбільш сильні сторони PowerShape - поверхневе моделювання і можливість працювати з даними з усіх конструкторських пакетів. PowerSHAPE обмінюється даними з іншими CAD-системами через стандартні формати обміну.



Поєднує в собі інструменти, каркасного, поверхневого і твердотільного моделювання, з можливістю роботи з рельєфами і триангульованими моделями.

Найбільш сильні сторони PowerSHAPE - це поверхневе моделювання і можливість працювати з будь-якими даними з усіх конструкторських пакетів. На відміну від дизайнерських 3D пакетів, тут створюється точна модель для подальшої передачі її у виробництво. PowerSHAPE в доповненні до основного функціоналу PowerSHAPE містить набір інструментів для дизайнерів, що включає інструменти фотореа-листочки, морфинга і накладення Фасетное моделей.

Delcam PowerMILL - пакет для підготовки високоефективних керуючих програм для фрезерних верстатів з ЧПУ. Він дозволяє підвищити продуктивність верстатів і, одночасно з цим, досягти найвищої якості при виготовленні деталей і оснастки. PowerMILL - це автономний пакет для багатоосевої обробки, що дозволяє отримувати чорнові і чистові траєкторії для обробки оснастки швидко, точно і без вірзів.



PowerMILL імпортує тривимірні моделі, створені в більшості CAD-систем, і готує програми для верстатів з ЧПУ. Дані можуть бути імпортовані в наступних форматах: IGES, VDA-FS, ProENGINEER, Unigraphics, CADD5, CATIA, Parasolid, ACIS, STL, STEP, а також в Delcam форматах DGK і DMT.

ProENGINEER, Unigraphics, CADD5, CATIA, Parasolid, ACIS, STL, STEP, а також в Delcam форматах DGK і DMT.



Delcam FeatureCAM – система підготовки керуючих програм, заснована на автоматичному розпізнаванні типових елементів. Технологія автоматичного розпізнавання елементів обробки, дозволяє зробити розробку програм для

верстатів з ЧПУ настільки швидкою і простою, наскільки це можливо.

Перевага FeatureCAM перед іншими CAM системами високий ступінь автоматизації прийняття рішень. У базі знань системи закладені типові технології обробки різних елементів з рекомендованим інструментом і режимами різання.

Система FeatureCAM дозволяє замість програмування кожного переходу чорновий і чистовий обробок, як це робиться в інших системах, просто задавати елементи, що утворюють в сукупності форму деталі. І зовсім не важливо, чи будуть ці елементи створені на базі креслення або отримані шляхом розпізнавання твердотільної моделі. Такий підхід збільшує швидкість розробки УП і скорочує час виготовлення самої деталі, що важливо, перш за все, для тих, хто пов'язаний з механічною малих і середніх партій деталей.

Крім того, система FeatureCAM здатна автоматично визначати і технологічні параметри обробки, т. Е. Система сама призначає інструмент для

кожної операції, обчислює значення подачі і швидкості різання, після чого генерує відповідні NC-коди. Така автоматизація допомагає уникати помилок, які часто відбуваються при ручному введенні даних. Забезпечують автоматизацію завдання параметрів існуючі в системі бази даних інструментів, матеріалів і технологічні параметри. Бази даних системи відкриті для редагування. Також є можливість створення користувацьких баз даних. Для зміни будь-якого з параметрів обробки досить змінити їх системні значення на призначені для користувача.

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.

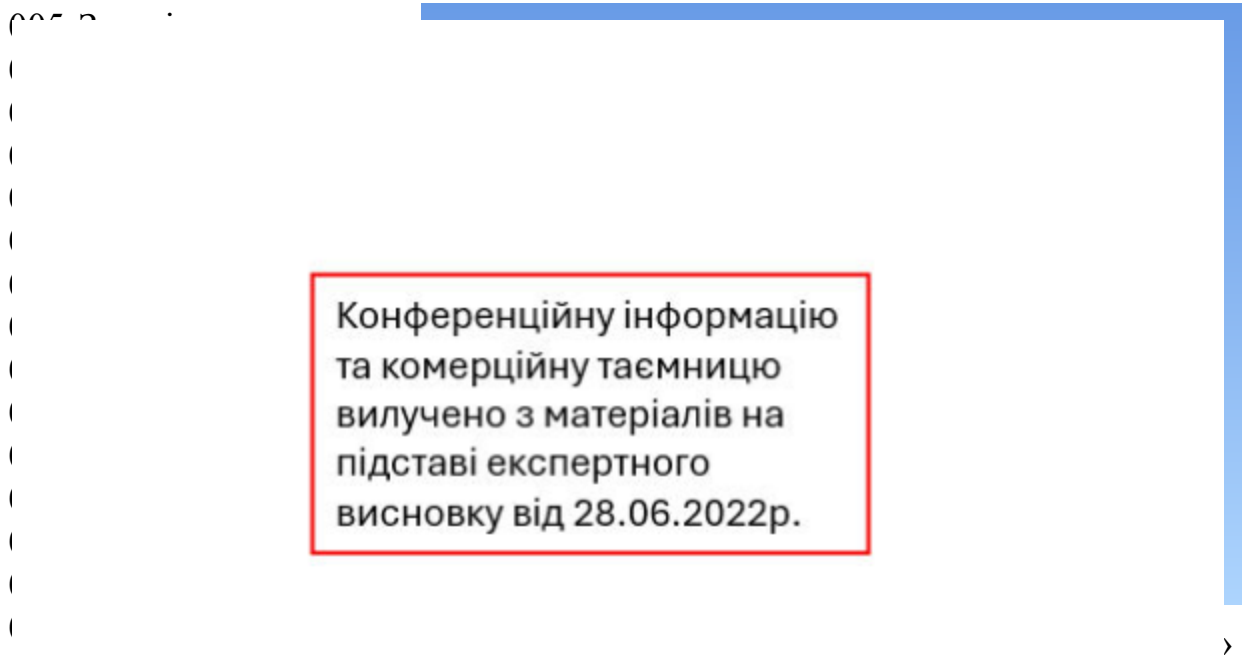
Найчастіше підприємства-виробники отримують готові твердотільні моделі, які вже містять інформацію, необхідну для опису форми деталі. В такому випадку користувачам FeatureCAM немає сенсу витратити час на відтворення цих даних. Автоматичне розпізнавання конструктивних елементів (Automatic Feature Recognition - 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 «Опорний фланець» для моделювання процесу точіння

Для моделювання процесу точіння була обрана деталь «Опорний фланець». 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 «Опорний фланець» 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 «Опорний фланець»



2.3 проектування деталі «Опорний фланець»

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

відк
сист
допс

малл
малл

б»
ту
за
за
за

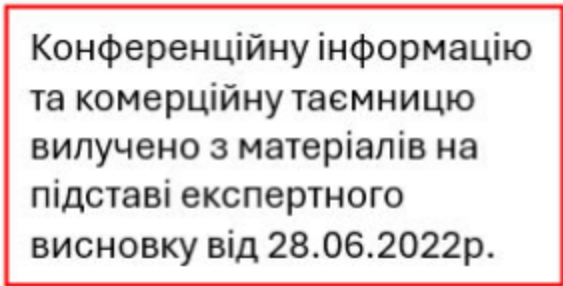
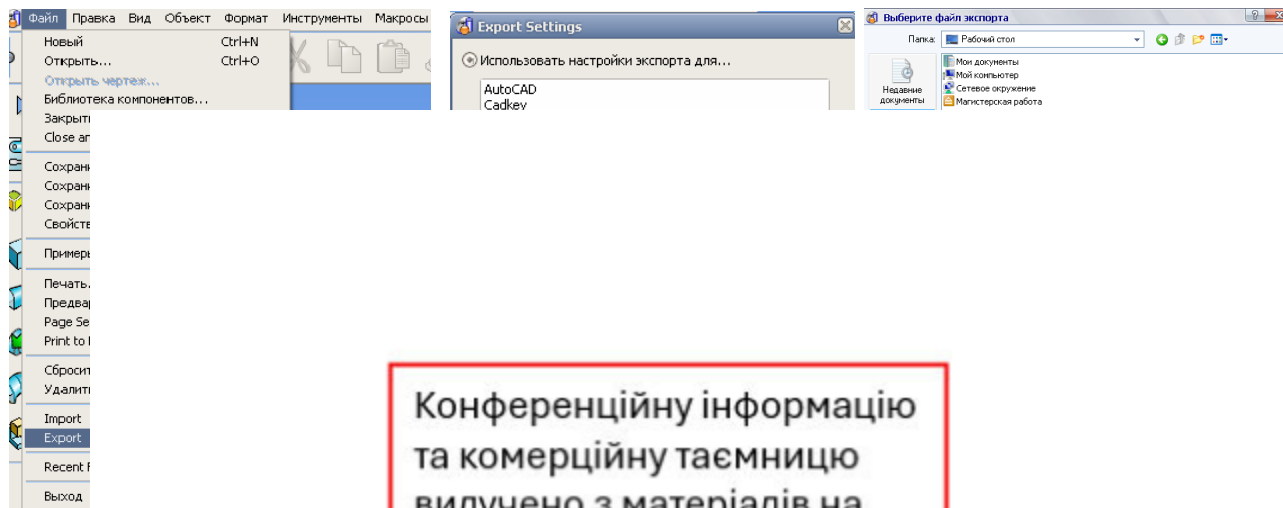


Рис. 2.4 – 3D модель деталі «Опорний фланець»

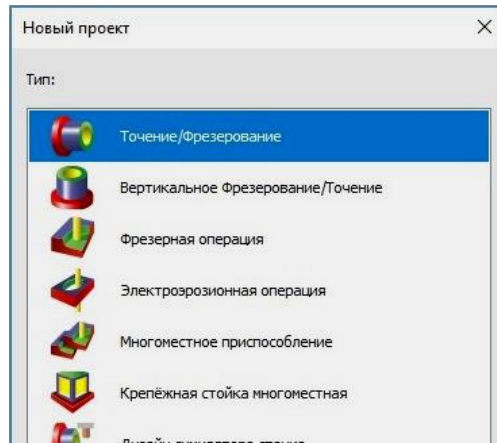
Для моделювання процесу точіння деталі «Опорний фланець» необхідно її експортувати в програму Delcam FeatureCAM через спеціальний інтерфейс (узгоджені формати для обміну інформацією). Для цього вибираємо Файл / Експорт / Експорт ... малюнок 2.5а, у вікні 2.5б вибираємо FeatureCAM, впливає вікно 2.5 в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



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

І
прогр
наочн
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).



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

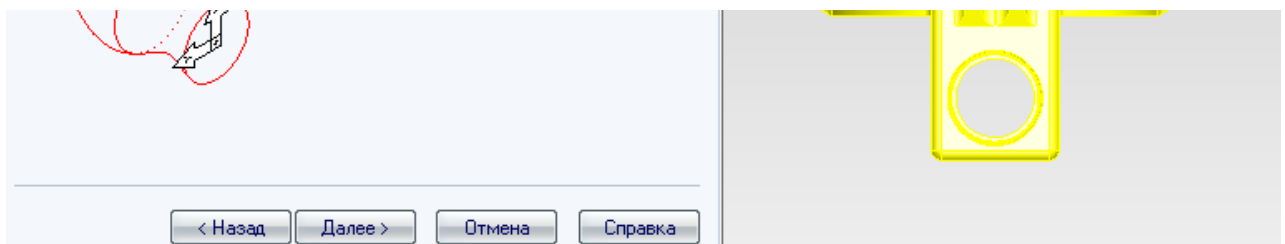


Рисунок 2.6 – Базування деталі «Опорний фланець»

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.

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



Рис.2.7 - Створення елемента токарної обробки деталі «Опорний фланець»

фр

та

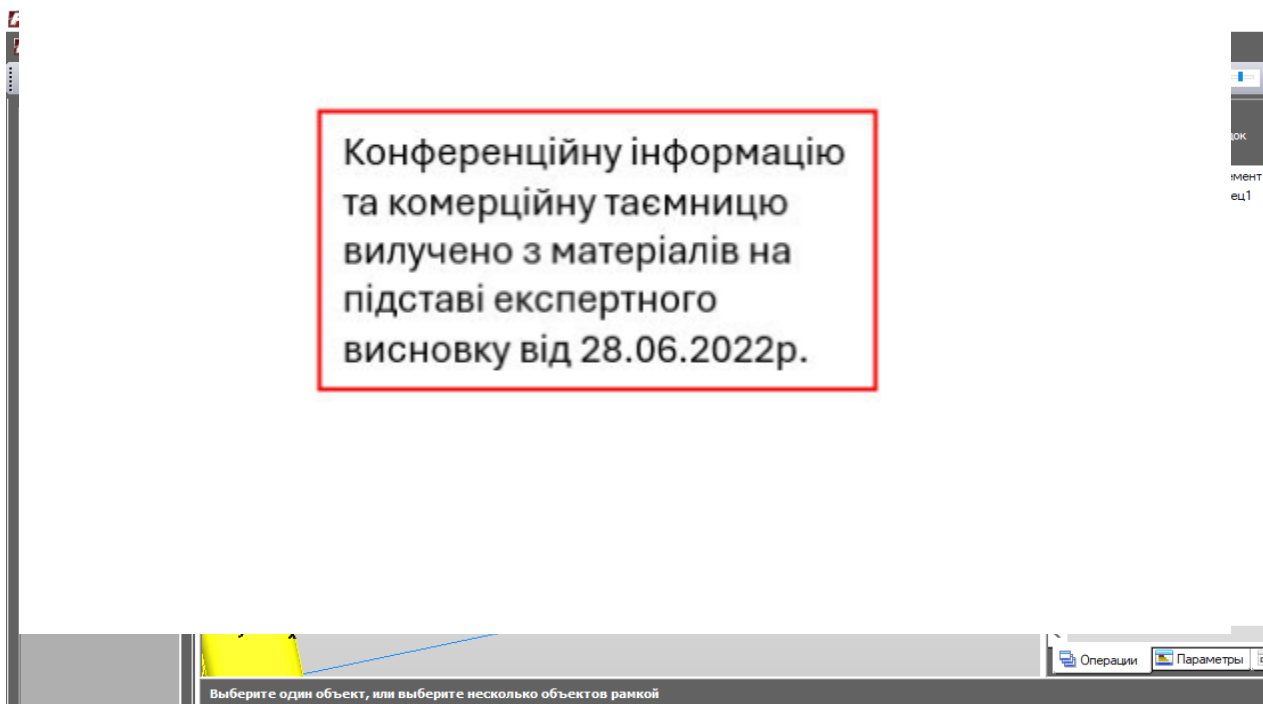
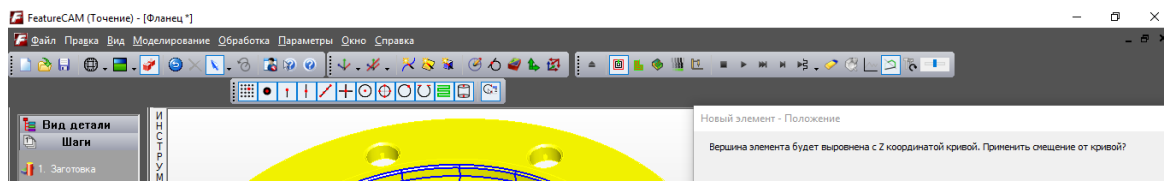


Рис.2.8 Операція токарна з ЧПК: підрізка торця



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

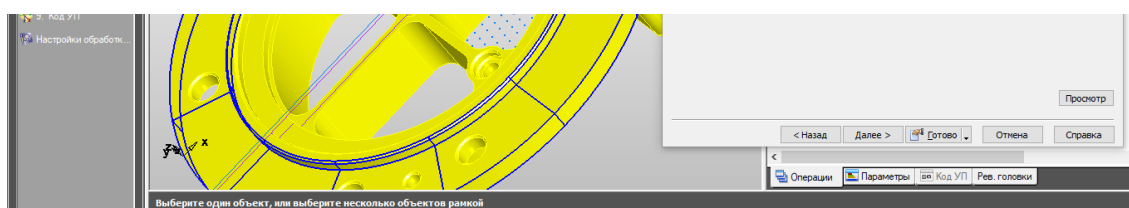
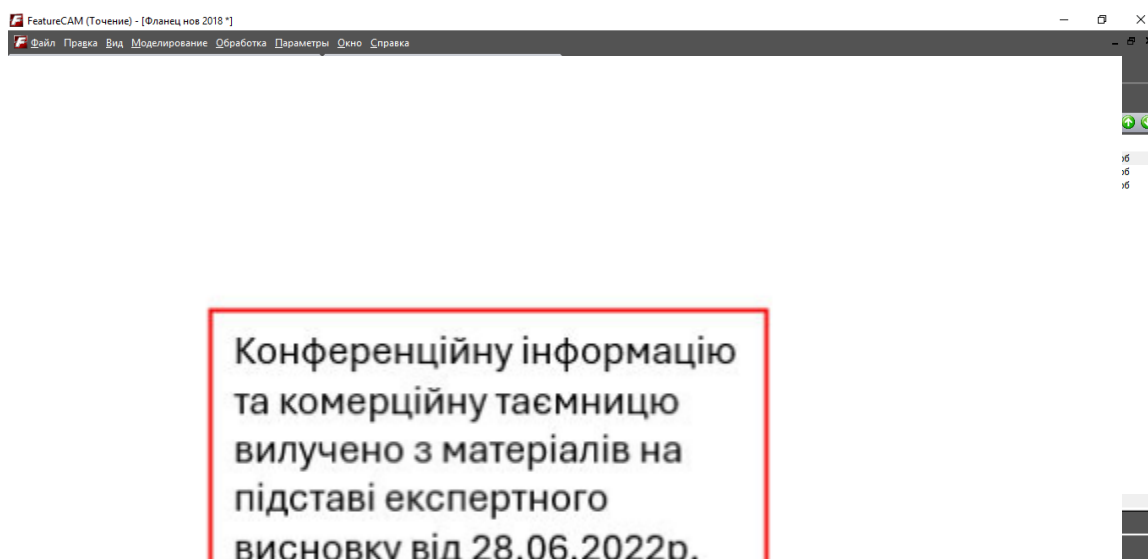


Рис.2.10 Операция токарная с ЧПК: точиння уступу і циліндру



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

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

Рис.2.12 Операція фрезерна з ЧПУ: контурне фрезерування

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



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



Рис.2.13 Mazak INTEGREX i-400ST

Спеціальний розділ

3.1 Оптимізація параметрів механічної обробки при точінні титанових сплавів

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

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 поздовжнім ДСТУрінням 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, відшукуючи 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 поздовжнього 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 – R_a , мкм;
- шлях різця в напрямку робочої подачі – L , мм;
- потужність електродвигуна приводу головного руху верстата – $N_{\text{эл.}}$, 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 – $\sigma_{\text{изг}}$, 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:

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

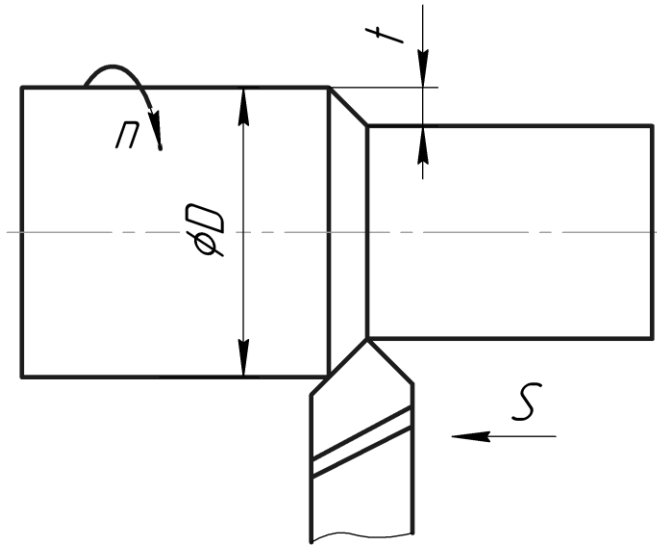


Рис.3.2 - Схема до розрахунку на стійкість різця

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):

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

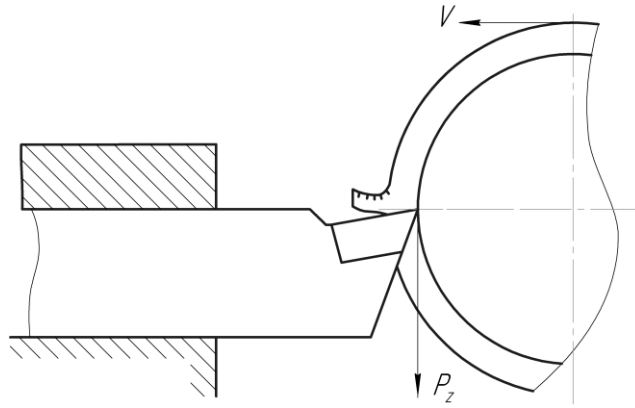


Рис. 3.3 - Схема до розрахунку на потужність головного руху

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 .

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

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

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

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

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.

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

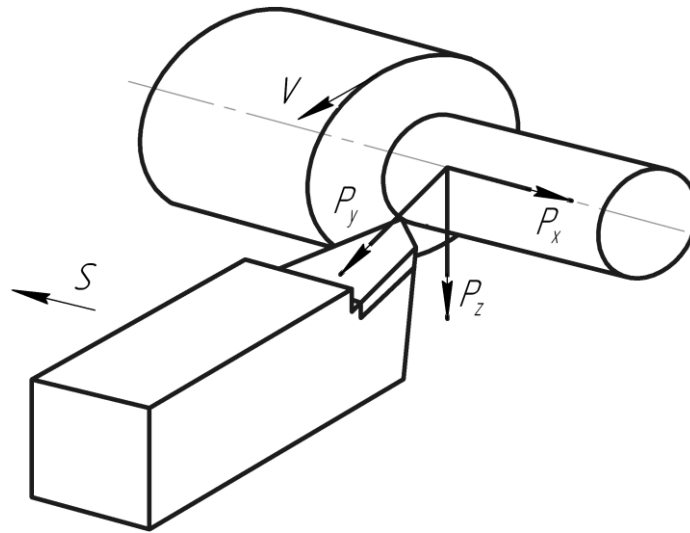


Рис.3.4 - Схема до розрахунку на міцність механізму подачі

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.

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

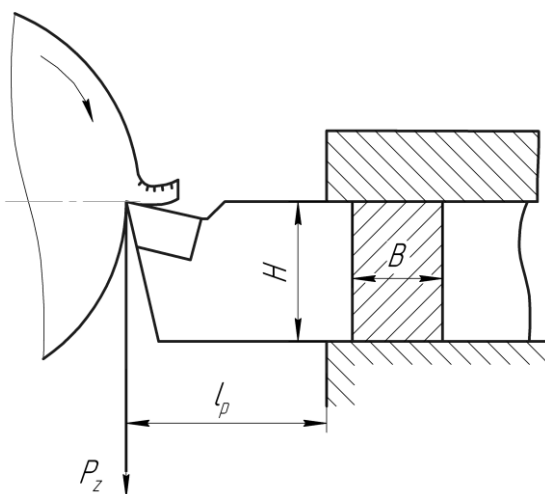


Рис. 3.5 - Схема до розрахунку на міцність перетину різця

Момент опору перетину різця розраховується з виразу:

- для прямокутного перерізу:

$$W = \frac{B \cdot H^2}{6} (\text{І} \cdot \text{і}) \quad (2.23)$$

- для квадратного перерізу:

$$W = \frac{B^3}{6} (\text{І} \cdot \text{і}) \quad (2.24)$$

- для круглого перерізу:

$$W = 0,05d^4 (\text{І} \cdot \text{і}) \quad (2.25)$$

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

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

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

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 пластинка 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:

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

Прологарифміровав 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.

Початок

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

Висновок оптимізованого режиму різання

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;

різ
інс
ти

ни
ості
ня і

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

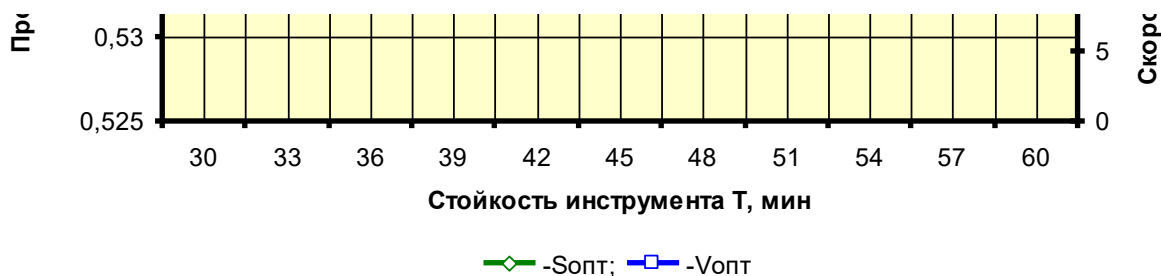


Рис.3.7 - Залежність оптимального режиму різання від стійкості інструменту

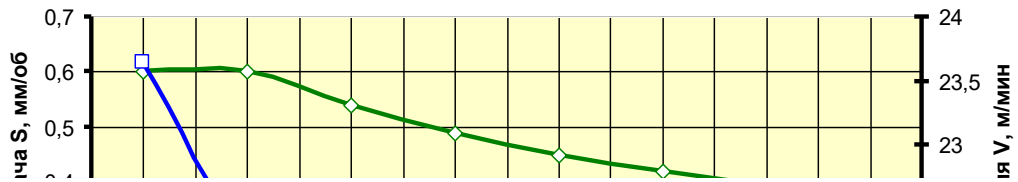
Аналіз отриманих результатів на графіку по малюнку 3.7 свідчить, що при збільшенні стійкості інструменту T , швидкість різання знижується по лінійної залежності.

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.



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

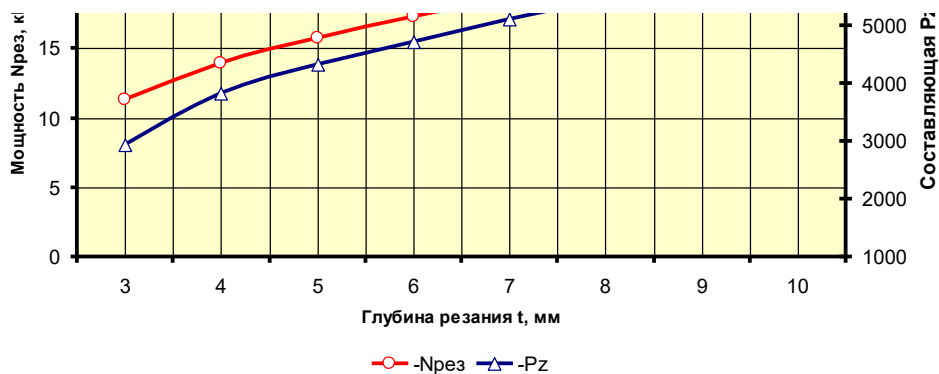
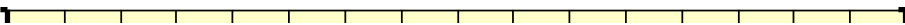


Рис. 3.9 – Залежність потужності та сили P_z від глибини різання t

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°

0,62  25

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

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.

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

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 чистової обробки 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:

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

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 великого 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

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

Нагрівання 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 вистилати 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 ДСТУрого 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 поховання 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 П1А для гасіння палаючого титану також неприпустимо. Для гасіння палаючих титанових сплавів рекомендується застосовувати порошоків засоби: склад ПГС, глинозем, карналлит, 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

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

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 глибинного шліфування титанових сплавів з використанням високопористого абразивного інструменту» розглядає підвищення ефективності глибинного 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

пр
ви

різ
ар

Зає
вбу
так
пол
Ме
від
від
ба

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

з

нні
жче

ити
ної

вці.
еці
ь, а
пів,
ок),

на
ний
Ви
рез

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 BK8;
- 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]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 10^2} \text{ (кВт)} \quad (2.5)$$

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

Початок

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

Обчислення швидкості різання v

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

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 та рекомендації

1. За результатами магістерської роботи досягнуто підвищення ефективності механічної обробки деталей з титанових сплавів.
2. Отримано алгоритм призначення оптимальних параметрів механічної обробки при точінні титанових сплавів, які забезпечують підвищення продуктивності і зниження вартості операції.
3. В ході роботи отримано математичну модель, що дозволяють оцінити ефективність обробки титанових сплавів.
4. Виявлено функціональні зв'язки в технологічному процесі виготовлення деталей з титанових сплавів, які полягають у впливі параметрів операції механічної обробки на її ефективність.
5. Описана методика забезпечує підвищення ефективності механічної обробки деталей з титанових сплавів на верстатах з ЧПУ за умови використання CAD / CAM-систем.

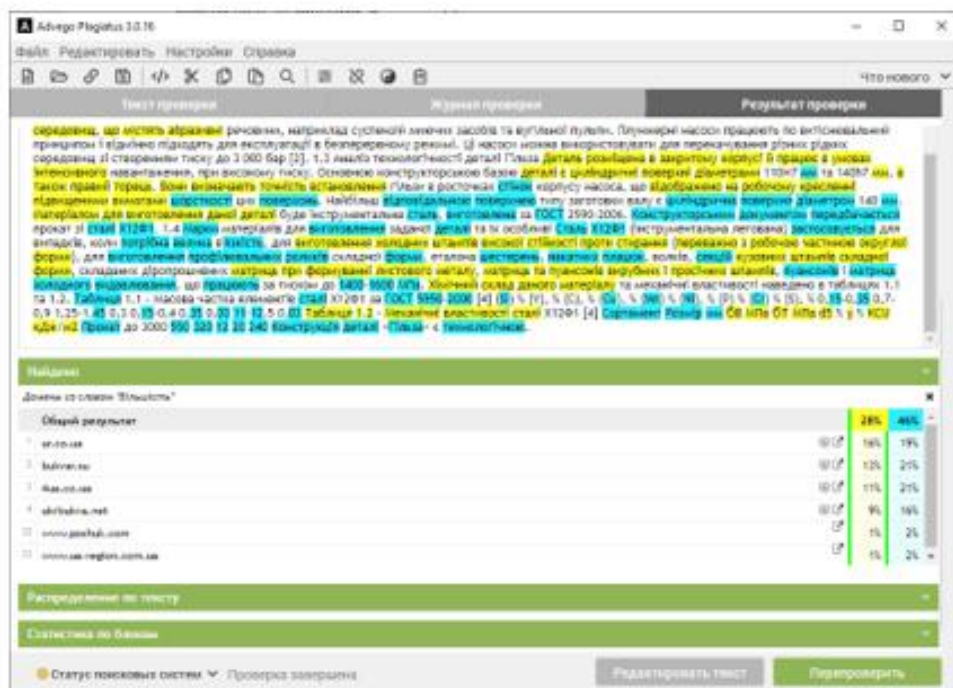
Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.



Результат перевірки унікальності тексту випускної кваліфікаційної роботи магістра Савчук А.Р.

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

Дата перевірки:	30 травня 2022 року;
Інструмент перевірки:	ADVEGO Plagiat 3.0.16 for Windows 10 x64 bit
Пошукові системи	Google, DuckDuckGo
Зміст перевірки:	пояснювальна записка та додатки роботи
Кількість перевірених символів:	56801
Унікальність за фразами, %	72
Унікальність за словами, %	54
Збіги, %	28
Рейт, %	46



Перевірка завершена: **100%**

Унікальність: по фразах **72%** / по словам **54%**

Виконавець кваліфікаційної роботи _____ А.Р. Савчук

Керівник кваліфікаційної роботи _____ В.А. Дербаба

Перевірив текст _____ В.А. Дербаба

Завідувач кафедри _____ В.В. Проців

