

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

РОМАНЕНКО РОМАН ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.9

**ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ КІНЦЕВИХ ФРЕЗ ПРИ ОБРОБЛЕННІ
КУТІВ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК**

Спеціальність 8.05050302 – інструментальне виробництво

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
магістр**

Київ – 2013

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування імені П.Р. Родіна Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент
Глоба Олександр Васильович
Національний технічний університет України «КПІ»,
м.Київ, доцент кафедри інтегрованих технологій
машинобудування імені П.Р. Родіна

Рецензент -кандидат технічних наук, доцент
Шевченко Олег Анатолійович
Національний авіаційний університет, м. Київ
доцент кафедри механіки
-кандидат технічних наук, доцент
Лапковський С.В.
Національний технічний університет України «КПІ»,
м. Київ, доцент кафедри ТМ

Консультант з кандидат технічних наук, доцент
охорони праці та **Фоменко Ігор Олександрович**
техніки безпеки Національний технічний університет України «КПІ»,
м. Київ, доцент кафедри охорони праці, промислової
та цивільної безпеки

Захист відбудеться „18” червня 2013 року об 14 годині на засіданні ДЕК кафедри інтегрованих технологій машинобудування імені П.Р. Родіна НТУУ «КПІ» за адресою, 03056, м. Київ, вул. Борщагівська 115, к. 615-22

З дисертацією можна ознайомитись на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування імені П.Р. Родіна НТУУ «КПІ» за адресою, 03056, м. Київ, вул. Борщагівська 115, к. 611

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність досліджень Застосування титанових сплавів в авіа- і ракетобудуванні 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 оброблюваність 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 припуску, що знімається (до 80 - 90% від обсягу заготовки), у поєднанні з низькою швидкістю різання даних матеріалів це призводить до значних матеріальних витрат на механічну обробку.

Сучасна інструментальна промисловість пропонує високопродуктивний інструмент для обробки титанових сплавів, проте швидкість виготовлення деталей з титанових сплавів дуже низька (наприклад, для деяких виробів машинний час становить 300 - 400 год). Застосування сучасних обробних центрів дозволяє скоротити терміни виготовлення. Але вартість утримання та експлуатації даного обладнання дуже висока і часто його можливості використовуються нераціонально, тому в даних випадках скорочення машинного часу не приводить до значного зниження собівартості продукції.

Підвищення ефективності виготовлення деталей з титанових сплавів, спрямованої на раціональне використання наявного обладнання та інструменту за рахунок пошуку оптимальних параметрів операції механічного обробки, в даний час є актуальним завданням для підприємств космічної та авіаційної промисловості. Рішення даної задачі дозволить, в кінцевому рахунку, знизити собівартість і підвищити конкурентоспроможність продукції.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами Магістерська дисертація виконана на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» у відповідності досліджень ініціативної теми: «Обробка титанових та алюмінієвих сплавів»

Мета і задачі дослідження: Мета роботи полягає у визначенні деформації кінцевих фрез при обробці кутів на верстатах з ЧПК для підвищення ефективності виготовлення деталей із титанових сплавів.

Для досягнення мети було поставлено **наступні задачі:**

1. Проаналізувати існуючі методи фрезерної обробки внутрішніх кутів.
2. Розробити математичну модель оптимізації фрезерної обробки титанових сплавів.
3. Виконати аналітичний розрахунок сил різання та питомих складових сили різання.

4. Зробити порівняльний аналіз отриманих результатів.
5. Отримати методику призначення оптимальних режимів різання при фрезеруванні внутрішніх кутів з мінімальною силою P_n .

Об'єкт дослідження – математична модель обробки кінцевими фрезами в кутах титанових сплавів.

Предмет дослідження – кінцеві фрези в діапазоні діаметрів до 10мм.

Методи дослідження – при проведенні досліджень використовувались методи теорії проектування різальних інструментів, теорії різання матеріалів та математичного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

- виявлені функціональні зв'язки в технологічному процесі виготовлення деталей з титанових сплавів, які полягають у впливі параметрів операції механічної обробки на її ефективність.
- математична модель оптимізації операції фрезерної обробки титанового сплаву, що відрізняється урахуванням потужності різання, що витрачається на знімання припуску, і жорсткості фрези, що визначає точність обробки

Практичне значення одержаних результатів отримання в ході дослідження оптимальних режимів обробки титанових і алюмінієвих сплавів кінцевою фрезою практичних рекомендаціях з модернізації технологічного оснащення механічної обробки, вибору обладнання та інструменту, ефективної методики проектування технологічних процесів механічної обробки титанових і алюмінієвих сплав.

Публікації та доповіді на конференціях. По темі магістерської дисертації опубліковано 3 друкованні роботи в спеціалізованих наукових виданнях, затверджених на ВАК України.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 26 найменувань, 3 додатків. Основний текст дисертації викладено на 92 сторінках. Повний обсяг становить 130 стор.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету, об'єкт, предмет дослідження і задачі, які автор розв'язує у роботі.

У першому розділі виконаний аналіз математичних моделей основних параметрів процесу металообробки, представленні основні сили різання при роботі кінцевої фрези, проведено аналітичний розрахунок складових сил різання при кінцевому фрезеруванні з урахуванням властивостей оброблюваного матеріалу, зносу різального інструменту, режимів різання, геометрії інструменту та кінематики. Також проаналізували методи для визначення висоти нерівностей залежно від режимів різання і геометрії ріжучого інструменту.

У другому розділі розглянуто теоретичні дослідження та розробка математичної моделі оптимізації фрезерної обробки в кутах титанового та алюмінієвого сплавів.

Таким чином були отримані моделі для зустрічного фрезерування, з яких обрана остаточна модель. Кращі моделі складових сил різання з мінімальною помилкою апроксимації по всій послідовності даних $\Delta BP_x = 0,43\%$, $\Delta BP_y = 8,3\%$, $\Delta BP_z = 22,6\%$, $n_0 P_x = 0,154$, $n_0 P_y = 0,32$, $n_0 P_z = 0,075$. Залежності вертикальної, горизонтальної та осьової сили наведено нижче:

$$P_x = 153,7 - \frac{80292}{B * Sm} - \frac{912}{t * B} + 0,129t * Sm + \frac{8388,7}{t} + \frac{1471,2t}{n}$$
$$P_y = 2,27 + 98,17 \frac{Sm}{n} + 0,1668B - \frac{480,79}{t * Sm} - 15,38 * 10^{-4} D * Sm - \frac{221,19}{t * Sm} - \frac{37,15}{B}$$
$$P_z = -20,98 + 16,967 \frac{t * B}{D} + 375,6 * 10^{-3} \frac{Sm^2}{n} + \frac{401141,6}{Sm^2 * B}$$

На рисунках наведених нижче показано вплив окремих чинників процесу різання на складові сили різання. Розрахунок сил приведений у Додатку Б.

В якості моделей складових сили різання при попутному фрезеруванні прийняті залежності, мають мінімальне значення оцінки критеріїв рівні $\Delta BP_x = 1,2\%$, $\Delta BP_y = 4,8\%$, $\Delta BP_z = 6,79\%$, $n_0 P_x = 6,32$, $n_0 P_y = 0,704$, $n_0 P_z = 0,44$.

$$P_x = 2,21 + 5,362 \frac{t * Sm}{D} - 3,66 \frac{n}{B^2} + 39,08 * 10^{-3} Sm + 49,7 * 10^{-2} \frac{D * Sm}{n}$$
$$P_y = 55,84 + 85,09 * 10^{-6} B * Sm^2 + \frac{7459}{D^2} - 64,29 * 10^{-7} n * Sm * D + 30,64 * 10^{-3} t^2 * B$$
$$P_z = 26 + 2,042 \frac{Sm * t}{D} - 11,1 * 10^{-2} \frac{n}{B} - 50,77 * 10^{-4} D * B$$

Для обробки внутрішніх кутів, було прийнято високошвидкісну стратегію обробки, тобто фрезерування з малою шириною контакту як

показано на Рис.(1), що значно покращує і полегшує обробку внутрішніх кутів. У зв'язку з таким фрезеруванням, забезпечується скорочення часу контакту ріжучої частини інструменту з заготовкою, отже, знижується силова дія.

При зменшенні подачі в кутах слід використовувати так само як і при контурній обробці радіусу значення подачі центру інструменту, повинно бути зменшено порівняно з подачею периферійної частини інструменту, для забезпечення постійної величини подачі на зуб. Також на відміну від лінійного різання при високій подачі глибина різання може перевищити допустиме значення. Це залежить від діаметра круговій траєкторії переміщення фрези по відношенню до радіуса кута.

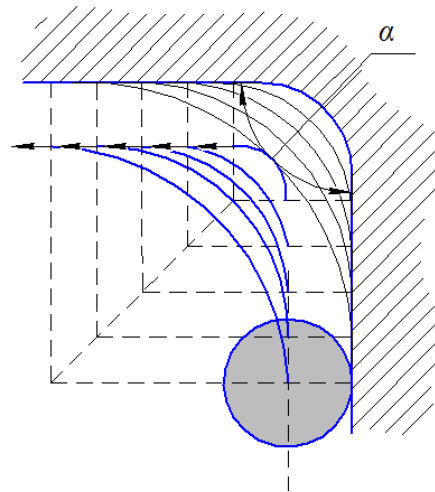


Рисунок.1 – Фрезерування з малою шириною контакту

Також були отримані залежності для знаходження питомих складових сили різання. Переходячи до зовнішньої системи координат x и y , можна записати

- Для попутного фрезерування

$$P_x(i, j, k) := -Pr(i, j, k) \cdot \sin(Q(i, j, k)) + Po(i, j, k) \cdot \cos(Q(i, j, k))$$

$$P_y(i, j, k) := Pr(i, j, k) \cdot \cos(Q(i, j, k)) + Po(i, j, k) \cdot \sin(Q(i, j, k))$$

- для зустрічного фрезерування

$$P_x(i, j, k) := Pr(i, j, k) \cdot \sin(Q(i, j, k)) + Po(i, j, k) \cdot \cos(Q(i, j, k))$$

$$P_y(i, j, k) := -Pr(i, j, k) \cdot \cos(Q(i, j, k)) + Po(i, j, k) \cdot \sin(Q(i, j, k))$$

де P_x - горизонтальна сила, діюча на i -му дисковому елементі в j -ий кутовий позиції; P_y - вертикальна сила, що діє на i -му дисковому елементі. Повні сили P_x і P_y , що діють на фрезу в j -ій кутовій позиції, виходять шляхом додавання рівняння по всіх дисковим елементами.

Для конкретних умов різання (подача, глибина і ширина фрезерування) середні значення \bar{P}_x і \bar{P}_y визначаються через сили P_x і P_y відповідно до рівнянь , а потім, підсумовуванням їх за кутовим положенням $\varphi(j)$ для $j=1,2,\dots$

$$\bar{P}_x = \left[\sum_{j=1}^{N_o} P_x(j) \right] / N_o$$

$$\bar{P}_y = \left[\sum_{j=1}^{N_o} P_y(j) \right] / N_o$$

Кожна з сил $P_x(j)$ і $P_y(j)$ може бути визначена як функція c, K_r, dB, Q за допомогою рівнянь. Таким чином середні значення сил \bar{P}_x і \bar{P}_y дорівнюють:

- попутному фрезеруванні

$$\bar{P}_y = \frac{K_r c S_z^{\mu+1} dB \sin[Q(i,j,k)] \cos[Q(i,j,k)] + c S_z^{\mu+1} dB \sin^2[Q(i,j,k)]}{z_b}$$

$$\bar{P}_x = \frac{-K_r c S_z^{\mu+1} dB \sin^2[Q(i,j,k)] + c S_z^{\mu+1} dB \sin[Q(i,j,k)] \cos[Q(i,j,k)]}{z_b}$$

- при зустрічного фрезеруванні

$$\bar{P}_y = \frac{-K_r c S_z^{\mu+1} dB \sin[Q(i,j,k)] \cos[Q(i,j,k)] + c S_z^{\mu+1} dB \sin^2[Q(i,j,k)]}{z_b}$$

$$\bar{P}_x = \frac{K_r c S_z^{\mu+1} dB \sin^2[Q(i,j,k)] + c S_z^{\mu+1} dB \sin[Q(i,j,k)] \cos[Q(i,j,k)]}{z_b}$$

У третьому розділі розроблена методика та 3-D модель моделювання процесу кінцевого фрезерування на базі МСЕ з використанням вирішувача *LS-Dyna*. Визначений напружено-деформований стан різальної частини кінцевої фрези (рис. 1), а також осьова сила та крутний момент під час моделювання фрезерування алюмінієвого сплаву. Проведено аналітичний розрахунок складових сили різання за формулами теорії різання. Встановлено, що результати одержані при 3-D моделюванні відрізняються на 15% по P_o . Проведено моделювання, та встановлено, що при використанні запропонованої фрези спостерігається зменшення осьової сили на 12%. Доведено, що МСЕ дозволяє прогнозувати сили різання та на основі аналізу напружено-деформованого стану розробляти нові конструкції інструменту.

LS-DYNA KEYWORD DECK BY LS-PREPOST
Time = 0.0025
Contours of Effective Plastic Strain
max ipt. value
min=0, at elem# 1
max=0.174201, at elem# 7299

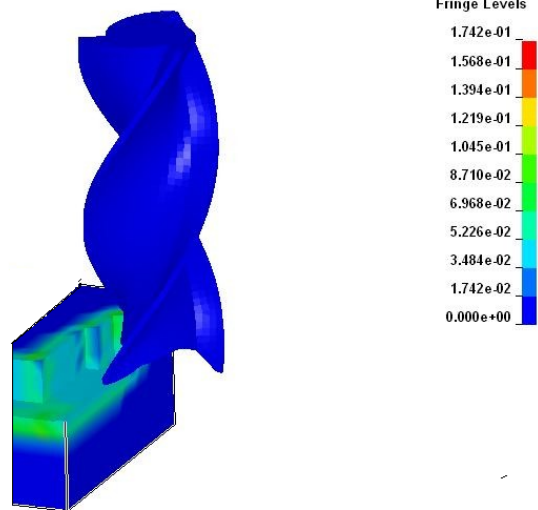


Рисунок. 1 – Пластичні деформації в зоні різання

У четвертому розділі приведена методика виявлення та аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, діючих при роботі в робочому приміщенні розглянуті загальні вимоги щодо використання комп'ютерів в приміщеннях. Розроблені рекомендації для збереження здоров'я оператора ПК, наведені можливі фактори ураження та методи

запобігання їм. Розроблені заходи щодо зниження можливої дії шкідливих і усуненню небезпечних чинників при роботі за ПК. Детально розглянуті норми щодо організації робочого місця, його освітлення, мікроклімату, тощо.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз теоретичних та експериментальних досліджень. Розроблені рекомендації щодо прогнозування працездатності нових конструкцій кінцевих фрез на основі моделювання його напружено-деформованого стану.
2. Представлена методологія і схеми фрезерування. Розглянуті оброкавнутрішніх кутів. Отримані залежності стійкості на основних складових сили різання при експериментальному дослідженні сил різання при різних параметрах.
3. Розроблена модель та методика моделювання процесу фрезерування, проаналізований вплив елементів конструкції на сили різання при фрезеруванні внутрішніх кутів.
4. На базі 3-D моделювання процесу фрезерування визначений напружено-деформований стан різальної частини кінцевої фрези. Доведена можливість удосконалення конструкції інструменту.

СПИСОК ДРУКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ДОПОВІДІ КОНФЕРЕНЦІЯХ

(Бібліографічний опис публікацій та опис назв доповідей на конференціях з вказівкою назви конференції, дати і місця проведенні)

1. Глоба О.В. Определение рациональных режимов резанья при сверлении высокопрочных полимерных композиционных материалов. / О.В. Глоба, Р.В. Романенко // Материалы 24 международная конференция "10 томов" под общей редакцией В.С. Балакирева Саратовский государственный технический университет 2011 ст.138-140.
2. Глоба О.В. Обробка кутів / О.В. Глоба, Р.В. Романенко // Загальноуніверситетська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів, присвячена Дню науки. – К., 2012. – С.55-56.
3. Глоба О.В. Програмування подачі в центрі і на периферії при фрезеруванні внутрішніх кутів / О.В. Глоба, Р.В. Романенко // Загальноуніверситетська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів, присвячена Дню науки. – К., 2013. – С.17-18

АНОТАЦІЯ

Романенко Роман Володимирович: «Дослідження деформації кінцевих фрез при обробленні кутів на верстатах з ЧПК.»

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 8.05050302 – інструментальне виробництво. – Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут. – Київ, 2013

На основі аналізу сучасних методів дослідження кінцевих фрез обрано метод за допомогою якого визначені основні складові сили різання, проведено аналіз питомих складових сили різання при контурному фрезеруванні.

При моделюванні процесу фрезерування внутрішніх кутів, було виявлено багато факторів впливаючих на основні складові сили різання, котрі в свою чергу впливають на деформацію стінки. З моделі фрезерування було запропоновано декілька схем для обробки внутрішніх кутів.

Змодельований процес чітко узгоджується з даними отриманими практично, при обробці і вимірюванні сил різання в лабораторних умовах. Запропоновані схеми ґрунтуються на деформаціях та силах діючих на стінку при різних режимах різання та параметрах фрезерування, які були проведені за допомогою змодельованого процесу.

Розроблено методику побудови моделі для моделювання процесу фрезерування в програмному середовищі LS-Dyna.

Ключові слова. Кінцева фреза, моделювання, внутрішні кути.

АННОТАЦИЯ

Романенко Роман Владимирович: «Исследование деформации концевых фрез при обработке углов на станках с ЧПУ».

Диссертация на соискание ученой степени магистра по специальности 8.05050302 - инструментальное производство. - Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт. - Киев, 2013

На основе анализа современных методов исследования концевых фрез выбран метод с помощью которого определены основные составляющие силы резания, проведен анализ удельных составляющих силы резания при контурном фрезеровании.

При моделировании процесса фрезерования внутренних углов, было обнаружено много факторов влияющих на основные составляющие силы резания, которые в свою очередь влияют на деформацию стенки. Из модели фрезерования было предложено несколько схем для обработки внутренних углов.

Смоделирован процесс четко согласуется с данными полученными практически при обработке и измерении сил резания в лабораторных условиях. Предложенные схемы основываются на деформациях и силах действующих на стенку при различных режимах резания и параметрах фрезерования, проведенные с помощью смоделированного процесса.

Разработана методика построения модели для моделирования процесса фрезерования в программной среде LS-Dyna.

Ключевые слова. Концевая фреза, моделирование, внутренние углы.

ABSTRACT

Roman Romanenko V., "Investigation of deformation of end mills for cutting corners on CNC machines."

Dissertation for the degree of MA in 8.05050302 - tool production. - National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute. - Kyiv, 2013

Based on the analysis of modern methods of end mills chosen method by which the basic components of the cutting force, the analysis of specific components of the cutting force during contour milling.

When modeling the milling process of the angles found many factors affecting the major components of the cutting force, which in turn affect the deformation of the wall. Since routing model was proposed several schemes to handle interior angles.

Simulated process clearly inconsistent obtained from this practice, the processing and measurement of cutting forces in the laboratory. The schemes are based on the deformations and forces acting on the wall at different cutting conditions and routing parameters that have been conducted using simulated process.

A method of constructing a model to simulate the milling process in the software environment LS-Dyna.

Keywords. End mills, modeling, interior angles.