

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**Розробка методів оптимізації керуючих програм для
5-ти координатних фрезерних обробних центрів**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМм-21
Наумук Вадим Іванович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2024 р.
к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Луцьк – 2024 року

Луцький національний технічний університет

Факультет Транспорту та механічної інженерії
Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки
Другий (магістерський) рівень
освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»
Спеціальність 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Р. РЕДЬКО

“ _____ ” _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Наумука Вадима Івановича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка методів оптимізації керуючих програм для 5-ти координатних фрезерних обробних центрів», керівник кваліфікаційної роботи магістра Четвержук Тарас Іванович к.т.н., доц. каф. ПМіМ затверджені наказом вищого навчального закладу від від «30» грудня 2023 р. № 452/01-02

2. Строк подання студентом роботи 05.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: звіт з переддипломної практики, технічна документація, базова УП обробки, паспорт верстату, конструкторська документація, нормативні дані.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Огляд існуючих технічних рішень систем ЧПУ. 2. Аналіз особливостей п'ятикоординатної фрезерної обробки. 3. Розробка управляючої програми. впровадження УП у реальному виробництві. 4. Аналіз отриманих результатів. Розрахунок НДС деталі у момент обробки, 5. оптимізація управляючої програми.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Блок-схеми УПЛ - ф.А1; 5-осьовий фрезерний обробний центр 1л - ф.А1, Обробка деталі «Кронштейн» 1л - ф.А1; розрахунок НДС деталі «Кронштейн»; Результати моделювання 1л - ф.А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

01.07.2024 р.

Керівник

_____ (підпис)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1.	<i>Огляд існуючих технічних рішень систем ЧПУ.</i>	<i>25.10.2024</i>	
2.	<i>Аналіз особливостей п'ятикоординатної фрезерної обробки.</i>	<i>5.11.2024</i>	
3.	<i>Розробка управляючої програми. Впровадження УП у реальному виробництві.</i>	<i>15.11.2024</i>	
4.	<i>Аналіз отриманих результатів. розрахунок НДС деталі у момент обробки.</i>	<i>25.11.2024</i>	
5.	<i>Оптимізація управляючої програми</i>	<i>25.11.2024</i>	
6.	<i>Представлення роботи до захисту</i>	<i>31.11.2024</i>	
7.	<i>Електронний варіант кваліфікаційної роботи магістра</i>		

Студент

_____ (підпис)

Наумук В.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Четвержук Т.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Наумук В.І. Розробка методів оптимізації керуючих програм для 5-ти координатних фрезерних обробних центрів. – Рукопис.

Атестаційна магістерська робота на здобуття кваліфікації другого (магістерського) рівня вищої освіти із спеціальності 131 – Прикладна механіка. – Луцький національний технічний університет. – Луцьк, 2024.

Робота присвячена питанням оптимізації управляючих програм для 5-ти координатних фрезерних обробних центрів. Розглянуті питання раціональності застосування металообробного обладнання з ЧПУ для конкретних технологічних процесів виготовлення деталей. Проведено аналіз існуючих технічних рішень створення та оптимізації керуючих програм із застосуванням для фрезерних обробних центрів. Також обґрунтовано доцільність оптимізації УП із врахуванням виникнення можливих дефектів для оброблення деталей на п'ятикоординатному фрезерному обробному центрі.

Розроблено та оптимізовано УП методом розрахунку напружено-деформованого стану для заданої деталі із зниженням рівня зношення ріжучого інструменту і самого верстата. Змодельовано та виготовлено деталь «Кронштейн» за оптимізованою УП на виробництві із скороченням часу оброблення та підвищенням якості оброблення.

Ключові слова: верстат з ЧПУ, моделювання, управляюча програма, фрезерна обробка, оптимізація, технологічний процес.

ANNOTATION

Naumuk V.I. Exploration of methods for optimizing core programs for 5-axis milling centers. – Manuscript.

Attestation master's thesis for obtaining the qualification of the second (master's) level of higher education in specialty 131 – Applied mechanics. – Lutsk National Technical University.– Lutsk, 2024.

The work is dedicated to the optimization of control programs for 5-axis milling centers. The nutritional rationalities of stagnation of metalworking equipment with CNC for specific technological processes for the production of parts are considered. An analysis of existing technical solutions for the creation and optimization of core programs for milling work centers was carried out. The aim of optimizing the CP from the elimination of possible defects for cutting parts on a five-axis milling work center is also emphasized.

The NC was expanded and optimized by the method of reframing the stress-deforming mill for a given part to reduce the level of wear on the cutting tool and the workbench itself. The “Bracket” part was modeled and manufactured using an optimized software program based on the rapid production of parts and shifts in the parts of parts.

Keywords: CNC machining, modeling, CTCcontrol program, milling, optimization, technological process.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ СИСТЕМ ЧПУ.....	11
1.1 Застосування верстатів з ЧПУ в умовах механообробного виробництва.....	11
1.2 Структура управляючої програми для обладнання з ЧПУ.....	12
1.3 Ручне програмування.....	14
1.4 Програмування на стійці верстата ЧПУ.....	15
1.5 Програмування із застосуванням САМ-систем.....	26
2 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ П'ЯТИКООРДИНАТНОЇ ФРЕЗЕРНОЇ ОБРОБКИ.....	18
2.1 Багатокоординатна обробка та її особливості.....	18
2.2 Безперервна п'ятикоординатна обробка.....	22
2.3 Позиційна п'ятикоординатна обробка.....	23
2.4 Технологія п'ятикоординатної обробки на фрезерних верстатах з ЧПУ.....	25
2.5 3D корекція.....	27
2.6 Практичне впровадження п'ятикоординатної обробки у реальному виробництві.....	27
3 РОЗРОБКА УПРАВЛЯЮЧОЇ ПРОГРАМИ. ВПРОВАДЖЕННЯ УП У РЕАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....	30
3.1 Розробка управляючих програм.....	30
3.2 Програмне забезпечення для виготовлення деталей.....	33
3.3 Структура управляючої програми.....	36
3.4 Впровадження управляючої програми у реальному виробництві..	39
4 АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ. РОЗРАХУНОК НДС ДЕТАЛІ У МОМЕНТ ОБРОБКИ.....	41
4.1 Результати відпрацювання першої деталі.....	41
4.2 Сили різання при фрезерній обробці на верстатах з ЧПУ.....	42

4.3	Вібрації при фрезерній обробці на верстатах з ЧПУ.....	44
4.4	Розрахунок напружено деформованого стану.....	45
5	ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛЯЮЧОЇ ПРОГРАМИ.....	51
5.1	Можливі способи оптимізації УП.....	51
5.2	Оптимізація УП із застосуванням розрахунку НДС.....	52
5.3	Оцінка результатів деталі «Кронштейн» отриманої за оптимізованою УП.....	56
5.4	Порівняння методів оптимізації УП використаних у роботі.....	57
	ВИСНОВОК.....	59
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
	ДОДАТКИ.....	63

ВСТУП

Досягнення останніх років у галузі механічної обробки деталей – це комплексна автоматизація виробництва. Величезна роль цьому належить розвитку металорізального обладнання з числовим програмним управлінням. Конкурентоспроможність будь-якого сучасного підприємства обумовлена його виробничими потужностями, і без парку верстатів різних груп від токарних до багатоцільових практично неможливо зайняти свою нішу на ринку. Все більше на виробництві універсальне обладнання витісняється обробними центрами, тому на ключове місце в процесі виготовлення деталі виходить технолог-оператор-програміст. Якщо при роботі на універсальному обладнанні все залежить від кваліфікації робітника, який стоїть за верстатом, то зараз технічно-грамотно написана управляюча програма (УП) дозволяє одному налагоджувальнику обслуговувати до 4 верстатів одночасно.

Основними завданнями сучасного виробництва є: досягнення частки інноваційної продукції обсягом реалізації щонайменше 50%, забезпечення рентабельності з чистого прибутку не менше 10%, підвищення продуктивності. Для здійснення вище зазначених цілей є 2 шляхи – скорочення термінів та зниження витрат.

Актуальність теми. Світові тенденції верстатобудування спрямовані на випуск металообробного обладнання з дедалі вищим рівнем автоматизації та з можливістю його швидкого переналагодження на виготовлення нових виробів, здатного ефективно працювати у складі сучасних автоматизованих гнучких виробництв. В даний час верстати з числовим програмним управлінням набули широкого застосування в машинобудівному виробництві. Обладнання з ЧПУ дозволяє забезпечити продуктивну обробку з високою точністю завдяки виконанню великої кількості технологічних операцій і переходів за один установ деталі на

одному конкретному обладнанні. Одним з основних представників цієї групи устаткування є верстати типу багатофункціональний фрезерний обробний центр.

Із застосуванням багатофункціональних обробних центрів, разом із розширенням кількості технічних можливостей, вимоги, які висуваються до кваліфікації фахівців, які розробляють управляючі програми, зростає. На сьогоднішній день важко уявити собі робоче місце технолога-оператора-програміста, яке не оснащене спеціальним технічним обладнанням та програмним забезпеченням для розробки управляючих програм. У зв'язку з необхідністю створення ефективних програм управління верстатів ЧПУ для обладнання зі складною кінематикою виконавчих та допоміжних рухів виникла потреба у перегляді підходів до створення та оптимізації УП.

Завданням кваліфікаційної роботи була розробка методів оптимізації управляючих програм, які дозволяють скоротити час оброблення деталей на обладнанні з ЧПУ та підвищити якість виготовлення деталей.

Мета і задачі дослідження. Підвищення продуктивності та якості виготовлення деталей на п'ятикоординатних фрезерних обробних центрах.

Для досягнення мети поставлено наступні задачі:

1. Провести аналіз технологічних можливостей застосування верстатів з ЧПУ;
2. Здійснити огляд існуючих методів створення керуючих програм для металообробного обладнання з ЧПУ;
3. Дослідити можливості п'ятикоординатної обробки на фрезерних обробних центрах з 3D корекцією УП.
4. Розробити та оптимізувати УП для оброблення деталі «Кронштейн».
5. Провести експериментальні дослідження.

Об'єкт дослідження. Обробка деталей п'ятикоординатних фрезерних обробних центрах.

Предмет дослідження. Оптимізація керуючих програм для фрезерних верстатів з ЧПУ.

Методи дослідження. CAD-CAM-CAE технології, системний аналіз, емпіричний аналіз і синтез, розрахунок і проектування верстатів з ЧПУ, математичне та комп'ютерне моделювання, методика експериментальних досліджень, технічне прогнозування.

Практичне значення та новизна:

- обґрунтовано доцільність оптимізації УП із врахуванням виникнення можливих дефектів для оброблення деталей на п'ятикоординатному фрезерному обробному центрі;

- встановлення оптимальні режими різання для деталі «Кронштейн» із врахуванням виникнення вібрацій під час обробки;

- розроблено та оптимізовано УП методом розрахунку напружено-деформованого стану для заданої деталі із зниженням рівня зношення ріжучого інструменту і самого верстата.

- виготовлено деталь «Кронштейн» за оптимізованою УП на виробництві із скороченням часу оброблення та підвищенням якості оброблення.

Особистий внесок здобувача. Основні результати, які розкривають суть кваліфікаційної магістерської роботи, рекомендації та висновки належать автору. Самостійно визначено мету і поставлено задачі дослідження, проведено увесь комплекс конструкторських та технологічних рішень.

Апробація результатів роботи. Основні результати роботи пройшли апробацію на наукових семінарах кафедри прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ та на іV студентській науково-технічній конференції «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії» факультету транспорту та механічної інженерії ЛНТУ. м. Луцьк, 15 листопада 2024 року.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків та списку використаних літературних джерел. Зміст роботи викладено на 59 сторінках друкованого тексту формату А4, містить 21 рисунок. Список використаних літературних джерел складається з 24 позицій.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ СИСТЕМ ЧПУ

1.1 Застосування верстатів з ЧПУ в умовах механообробного виробництва

У сучасному промисловому виробництві при виробництві технологічно складної продукції більшість деталей і складальних одиниць проходять процес механічного оброблення на високопродуктивному обладнанні, яке має підвищену точність. В даний час розроблено цілий комплекс систем автоматизації проектування розробок. Система автоматизованого проектування (САПР) – автоматизована система, яка реалізує інформаційну технологію виконання функцій проектування [2, 6, 10]. Вона є організаційно-технічною системою, що призначена для автоматизації процесу проектування, яка складається з персоналу та комплексу технічних, програмних, апаратних та інших засобів автоматизації його діяльності.

Для роботи обладнання з ЧПУ технологи-оператори-програмісти створюють управляючі програми, від яких залежить якість і надійність, не тільки деталей і складання, але і в цілому виробів машинобудування. Для сучасних підприємств питання якості продукції займає лідируючі позиції, а з урахуванням того, що майже всі вироби включають механооброблювані деталі, то і питанням якості самих деталей приділяється велика увага. Саме тому на підприємствах з кожним роком зростає кількість деталей, виготовлених на устаткуванні з числовим програмним управлінням (ЧПУ), і на даний момент досягає значення до 70-75% від загальної кількості деталей. Дані показники говорять про високий показник ефективності верстатів з ЧПУ, які застосовуються в механообробному виробництві. Проте, безпосередньо використання верстатів з числовим програмним управлінням встановлює деякі умови під час підготовки та організації виробництва, особливо, необхідність якісної підготовки виробництва для підприємства, тобто у розробці керуючих програм та підборі металорізального інструменту для даного обладнання.

Числове програмне управління (ЧПУ) верстата – це процес управління механічної обробки заготовки на конкретному устаткуванні за заздалегідь написаною програмою, в якій інформація про обробку задана у вигляді цифрового коду [11]. Система ЧПУ – це сукупність функціонально взаємопов'язаних технічних та програмних засобів та методів, що забезпечують числове програмне управління верстатом.

Числове програмне управління верстатами – це частина системи ЧПУ, виконана як одне ціле з нею і що подає керуючі на виконавчі органи верстата, відповідно до УП, та інформацією про стан керованого об'єкта. Управляюча програма (УП) — це записана на програмоносій у закодованому цифровому вигляді маршрутно-операційна технологія на конкретну деталь із зазначенням траєкторій руху інструмента.

Процес розробки управляючих програм дуже трудомісткий, оскільки оператору-технологу необхідно врахувати дуже багато чинників: від оброблюваного матеріалу, зміни заготовки, вимог до поверхонь деталі до підбору інструменту, режимів різання, створення безпосередньо самої стратегії та траєкторії обробки [6]. Важливим критерієм під час створення управляючої програми є машинний час, тобто час роботи програми на верстат. Від цього параметра безпосередньо залежить вартість виготовлення деталі. Чим більший цей час, тим більша вартість цієї деталі, і чим менша кількість цих деталей може бути виготовлено на цьому устаткуванні за певний часовий проміжок. Саме тому при підготовці виробництва приділяється велика увага якісній розробці та оптимізації керуючих програм.

1.2 Структура управляючої програми для обладнання з ЧПУ

Для коректного використання обладнання з ЧПУ та повної реалізації закладених у них функціональних можливостей потрібно створення спеціальних

управляючих програм (УП). При їх створенні використовується мова програмування, більш відома, як мова ISO 7 біт або мова G і M кодів [11].

Управляюча програма складається з певної послідовності кадрів і в більшості випадків на початку програми стоїть символ «%» – початок програми, а закінчується спеціальними командами M02 або M30. Структура УП для верстатів з ЧПУ представлена на рисунку 1.1

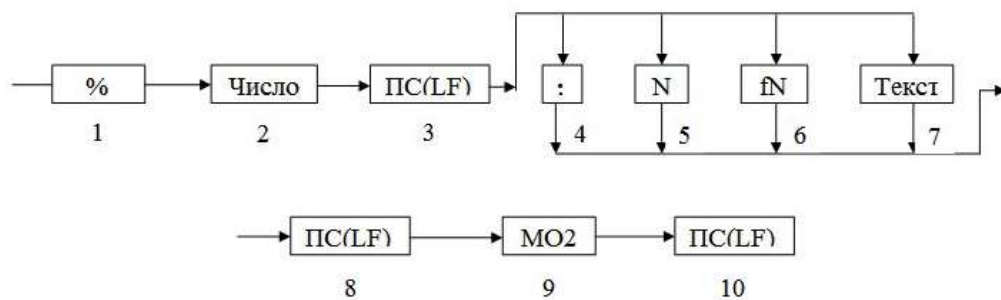


Рисунок 1.1 – Структура УП

Кожен кадр керуючої програми є одним кроком обробки (залежно від системи ЧПУ) і може починатися з номера кадру (N001, N002 і т.д.), а закінчуватися символом кінець кадру «;». У загальному вигляді та формат кадру представлені рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Формат кадру УП в загальному вигляді

Кожен кадр УП складається із спеціальних команд у формі слів (M03, Z8., A90.). Слово складається із символу (адреси) та цифри, які представлені у вигляді числових значень. Адреси X, Y, Z, A, B, C, D, E U, V, W, P, Q, R є розмірними

переміщенням [12]. Вони використовуються для позначення осей координат, вздовж яких здійснюються переміщення. Дані адреси, які описують переміщення, можуть перед чисельним значенням знаки « + » або « - » відповідно вказують на напрямок переміщення. За відсутності знаку переміщення вважається додатнім.

Адреси I, J, K означають параметри інтерполяції. G – підготовча функція, M – допоміжна функція, S – функція головного руху, F – функція подачі. T, D, H – функції інструменту. Дані символи, залежно від умов, набувають різних значень, залежно від конкретної встановленої на верстат системи ЧПУ. Є три найпопулярніші способи для створення УП обробки на верстатах з ЧПУ: метод ручного програмування, метод програмування безпосередньо на стійці ЧПУ і метод програмування з використанням САМ-систем (рисунок 1.3).

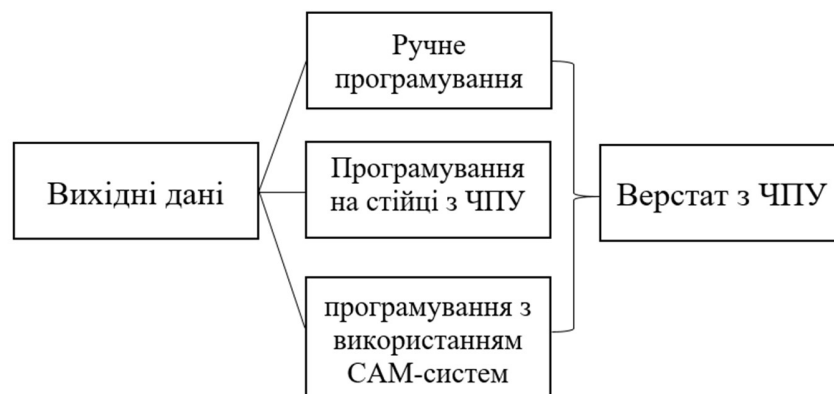


Рисунок 1.3 – Способи програмування верстатів з ЧПУ

1.3 Ручне програмування

При ручному написанні УП для верстата з ЧПУ найчастіше використовують комп'ютер із встановленим на ньому будь-яким текстовим редактором. Метод ручного програмування полягає у створенні УП в текстовому редакторі у вигляді G та M кодів та координат переміщення оброблювального інструменту технологом. Координати траєкторії оброблення беруться з креслення чи ескізу виробу. Ручне написання УП є дуже складним і трудомістким процесом, однак, будь-який з

розробників УП повинен добре розуміти принципи і володіти технікою ручного програмування незалежно від того яким методом він користується [3].

Застосуванням ручного методу програмування може бути УП для обробки нескладної деталі або відсутність необхідних засобів розробки. У реальному виробництві, коли у виробничому процесі задіяно невелику кількість обладнання з ЧПУ, а оброблювані деталі відрізняються простотою, то продуктивність праці розробника, з достатнім досвідом ручного програмування, може виявитися співмірною з продуктивністю праці програміста, який використовує САМ-системи. Аналогічно, при невеликій номенклатурі деталей, які виготовляються на підприємстві, застосування ручного програмування може виявитися виправданим, оскільки один раз розроблені програми без додаткового доопрацювання можуть використовуватися довгий час. Важливо, що навіть за використання САМ-системи як основного інструменту програмування часто виникає потреба у ручній корекції УП через виявлення помилок на стадії верифікації. Необхідність ручної корекції УП може виникати при відпрацюванні УП безпосередньо на верстаті.

1.4 Програмування на стійці верстата ЧПУ

Сучасне металообробне обладнання з ЧПУ, за рідкісним винятком, мають можливість створення УП безпосередньо на стійці верстата, за допомогою попередньо встановленого дисплея та клавіатури. При створенні УП на стійці може застосовуватися режим діалогового програмування та пряме введення G і M кодів. У той же час існує можливість контролю та тестування раніше розробленої УП, із застосуванням верифікації, безпосередньо на екрані стійки верстата ЧПУ із підтримкою даної функції. Даний спосіб застосовується, в основному, при обробленні деталей середньої складності, обробки різних площин, отворів і т.д.

До основних переваг цього методу належать:

- візуалізація параметрів з можливістю перевірки;
- простіший процес створення програми для початківця.

До недоліків можна віднести:

- розробка УП проводиться з використанням спеціальних кодів з різними параметрами;
- можливості програми обмежені через набір функцій;
- використовує робочий час обладнання.

1.5 Програмування із застосуванням САМ-систем

САМ-система – це система, що забезпечує інтегроване вирішення завдань розробки конструкторського проекту виробу та формування УП для обробки деталей виробу на обладнанні з ЧПУ [11]. Сукупність способів розв’язання різних типів однієї системи обумовлено тим, що їхнє рішення засноване на використанні єдиної параметричної 3D моделі виробу. Єдність моделі дозволяє обійти майже всі проблеми, пов’язані з трансляцією даних між собою в різних системах, забезпечуючи об’єднане рішення поставлених завдань.

Створення УП з використанням САМ-систем значно полегшує та скорочує час на процес програмування. При використанні в роботі САМ-системи технолог-оператор-програміст позбавлений необхідності проводити трудомісткі математичні розрахунки, і отримує набір інструментів, що істотно прискорює процес розробки УП [15].

Використання саме цього методу проектування отримало найширше застосування у промисловості і більшість робіт у сфері створення УП, нерозривно пов’язана безпосередньо з використанням САМ-систем. При даному способі проектування виникає проблема якісної розробки векторних моделей керуючих траєкторій і проблема стандартизації елементів конструкції та створення на їх основі додатково встановлених бібліотек. Також виникає потреба у верифікації та коригуванні УП зі створенням та впровадженням даної системи в реальне машинобудівне виробництво [10].

Розширення можливостей САМ-систем з позиції проєктування керуючої програми, зазвичай, ведеться засобами вирішення окремих завдань проєктування. Наприклад, за рахунок розв'язання завдань автоматизованого розрахунку розташування заготовки, рішення якої, найчастіше під силу стандартному функціоналу [11]. Велика кількість робіт спрямовані на вирішення завдань певного типу, конкретний програмний продукт або опис розробки для певного виду обладнання [10] обмежує можливість загального застосування запропонованих рішень. У рамках технологічної підготовки виробничих систем важливим аспектом є питання якості УП, що розробляються.

Існують способи підвищення якості роботи верстатів з ЧПУ завдяки оптимізації УП:

- збільшення показників механічної обробки завдяки більш точним розрахункам режимів різання;
- контроль за зношенням інструменту та внесення коригувань у код УП;
- використання динамічного програмування під час створення УП.

Підсумовуючи вищесказане, слід відмітити, що в описаних способах, в силу їх типізації та вузькоорієнтованості, відсутня необхідна гнучкість у вирішенні проблеми якості розробки УП, для великої номенклатури виробів, особливо в умовах серійного виробництва, яке включає деталі, що піддаються механічному обробленню.

Виходячи з розглянутих положень, було поставлено завдання пошуку методів оптимізації УП для верстатів з ЧПУ, які б несли універсальний характер, були б доступні для технологів і дозволяли досягти максимального ефекту від даного процесу.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ П'ЯТИКООРДИНАТНОЇ ФРЕЗЕРНОЇ ОБРОБКИ

2.1 Багатокоординатна обробка та її особливості

Зростання вимог до збільшення продуктивності, якості та точності оброблення деталей зі складним профілем призводить до необхідності автоматизації процесів їх виготовлення. У зв'язку зі збільшеною конкуренцією виникає необхідність у сучасній та оперативній підготовці виробництва для випуску нового виробу, у тому числі технічному переоснащенні виробництва за рахунок придбання сучасного та високопродуктивного обладнання, зокрема 5-осьових фрезерних обробних центрів.

Деталі складної форми вимагають обробки, в якому інструмент повинен одночасно описувати траєкторію у трьох декартових координатах у поєднанні з нахилом інструменту та обертанням заготовки (тобто ще двома «круговими» осями). Для цього можна використовувати пару поворотних осей A+B або B+C для різних 5-осьових машин, загальна схема осей показано на рисунку 2.1.

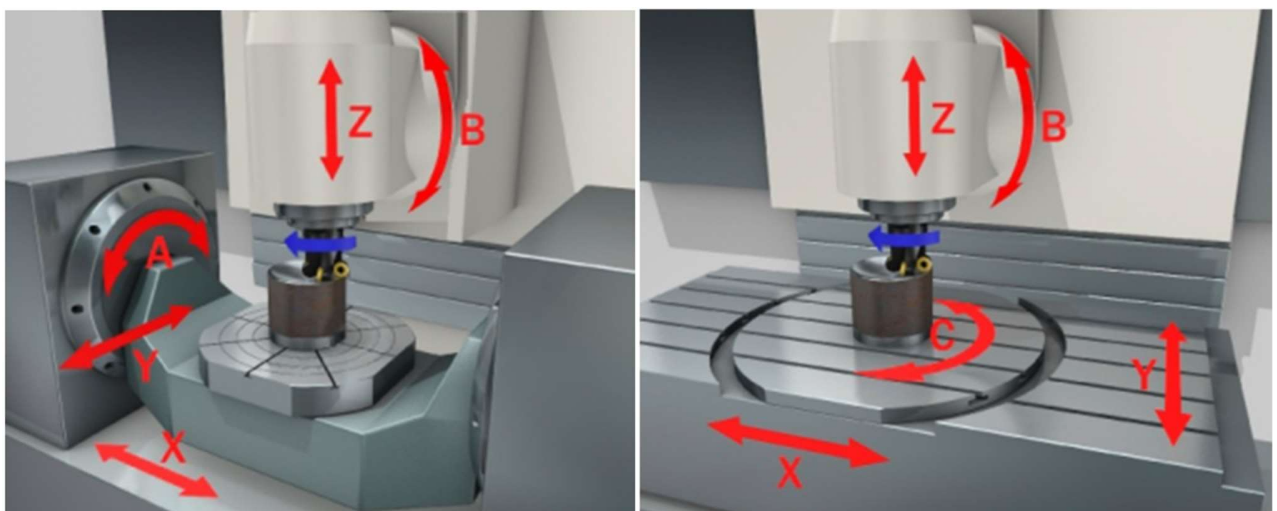


Рисунок 2.1 – 5-осьовий фрезерний обробний центр з ЧПУ

Деталі, що мають складну геометричну форму, можуть бути оброблені на устаткуванні з багатокоординатною кінематикою. При цьому виникає завдання розробки коректної керуючої програми, яка дозволяє багатокоординатній верстатній системі провести обробку деталі, з дотриманням усіх технічних вимог, які висуваються до неї. Вперше технологія п'ятикоординатної обробки отримала своє застосування в авіаційній та космічній промисловості, де виникла потреба у виготовленні та механічному обробленні деталей зі складною формою. П'ятикоординатні фрезерні центри отримали своє застосування у виготовленні таких складних деталей, як турбінні лопатки та крильчатка (рисунок 2.2)



Рисунок 2.2 – Турбінні лопатки та крильчатка

Вплив на точність механічного оброблення деталей на верстатах з ЧПУ чинить комплекс похибок на всьому життєвому циклі деталі у системі «ескіз – готова деталь». Невелика частка похибок розробки і запису керуючої програми відбувається через програмоносій. Більшість похибок виникає у системі «верстат-приспосіблення-інструмент-деталь» (ВПД) при безпосередньому обробленні деталі. Отримання необхідної якості обробки деталі, продуктивність, а також собівартість обробки, в комплексі залежить від усіх елементів технологічної системи. У процесі обробки на технологічну систему впливають різні зовнішні та

внутрішні фактори. Дані фактори викликають відхилення від необхідної послідовності процесів самого технологічного процесу обробки, а отже його вихідні показники погіршуються. В результаті впливу цих факторів виникають пружні деформації елементів системи ВПД, їх зношення, теплові деформації, вібрації, що веде до погіршення, в першу чергу, якості механічної обробки, а також впливає на такі важливі показники як собівартість та ефективність оброблення [11].

Представлені вище деталі (рисунок 2.2) обробляються за допомогою методу контурного фрезерування. На сьогоднішній день воно є найбільш точним та продуктивним методом виготовлення деталей з криволінійним профілем.

Особливістю даного процесу фрезерування є переривчастість різання кожним зубом фрези. У момент контакту із заготовкою, лише на деякій частині оберту, зуб фрези виконує різання. Потім він продовжує рух, не входячи в контакт із заготовкою, до моменту наступного врізання, внаслідок чого виникають додаткові вібрації. Технологічні операції із застосуванням контурного фрезерування, здебільшого є чистовими, та його реалізація повинна створювати умови отримання необхідних вимог, які висуваються до конкретної деталі (точність і якість оброблених поверхонь).

Відмінною ознакою процесу контурної фрезерної обробки є криволінійна траєкторія руху геометричного центру ріжучого інструменту. Дотримання даної траєкторії переміщення можна здійснити лише при безперервній зміні швидкостей подач по координатних осях, що супроводжується динамічним впливом з боку сил інерції, що є протидією матеріальної точки зміні її швидкості [13]. На підставі цього слід зробити висновок, що контурне фрезерування завжди супроводжується дією сил інерції. Оцінку впливу можна дати лише розглядаючи динаміку самого процесу. Процес контурного фрезерування передбачає відносні рухи заготовки та інструменту, які визначають зміну величин координатних швидкостей, що викликає додаткові динамічні збурення, які впливають на кінцеву точність оброблення.

Таким чином, для більш точного опису процесу формоутворення, що визначає точність обробки сплайн поверхні, на фрезерному обладнанні з ЧПУ, необхідно додатково розглянути контурну обробку, як динамічний процес і визначити залежність точності обробки від поточної кривизни поверхні.

Контур, який використовується при фрезеруванні складних поверхонь на заготовках, як правило, рідко має ту ж форму, що і контур готової деталі. Ця різниця форм може бути досить великою. Цей параметр є одним з основних факторів, які впливають на визначення величини припуску на обробку за контуром у великих межах, відповідно це є причиною постійної зміни величини сили різання, і як підсумок виникнення похибки оброблення.

Вибір режимів різання контурної обробки, в наш час, здійснюються без урахування можливого динамічного впливу, викликаного кривизною контуру. Цей фактор може стати причиною суттєвих похибок обробки (особливо на чистових проходах), через зміну (зміщення) заданої траєкторії руху інструменту. Вплив цього фактору може бути виключено тільки завдяки дослідженню динаміки процесу та його управлінням, виявленню інших факторів, які вказують на стан системи, у певний проміжок часу, створенням такої траєкторії руху інструменту, яка виключає різку зміну координатних швидкостей.

Управління технологічною системою верстата за рахунок оптимізованих УП та розроблення технологічного процесу, на базі тривимірного моделювання виробу стає одним із актуальних завдань. Під цим розуміється повна автоматизація процесу технологічного проектування, основним елементом якого є тривимірна математична модель виробу. Основна особливість тривимірної моделі – це те, що всередині математично описаної форми моделі знаходиться інформація про виріб в цілому, його структуру та конкретні деталі, такі як поверхні або елементи форми.

Велика кількість САПР дає можливість інженеру створювати тривимірні моделі деталей та збірок як параметрично зв'язані моделі. До такого ПЗ належать одні з найвідоміших на ринку світових САД-систем програмні продукти

SolidWorks, FeatureCAM, Autodesk, Catia, Unigraphics, Creo, IRONCAD та інші [1,6,7].

Розрізняють два види 5-координатної обробки: безперервна та позиційна обробка (обробка з індексуванням). При безперервній обробці робочі органи верстата дійсно одночасно здійснюють переміщення по всіх ступенях свободи.

2.2 Безперервна п'ятикоординатна обробка

При безперервній 5-осьовій обробці може відбуватися одночасне рух по всіх п'яти осях верстата. Основною особливістю п'ятиосьової безперервної обробки є те, що крім стратегій управління переміщенням фрези поверхнею деталі, використовуються стратегії управління орієнтації осі інструменту. Стратегії переміщення інструменту поверхнею оброблюваної деталі загальновідомі, Це пошарові чорнові зрізання матеріалу, чистові переміщення із забезпеченням сталості висоти «гребня», переміщення вздовж заданих кривих на поверхні між кривими на поверхні, між контрольними поверхнями і т.д. А стратегії управління орієнтацією осі – це способи, які дозволяють змінювати нахил осі ріжучого інструменту під час обробки за певними правилами [15].

Найпростіший спосіб з точки зору програмування – це орієнтація осі фрези за нормаллю до оброблюваної поверхні (рисунок 2.3).

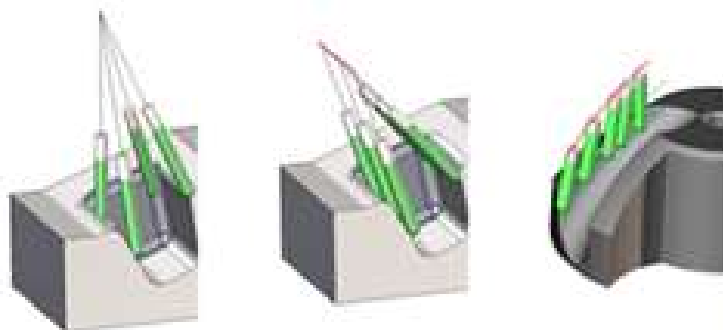


Рисунок 2.3 – Орієнтація осі ріжучого інструменту (фрези)

Цей спосіб має безліч недоліків, наприклад, траєкторія часто "вивалюється" за діапазони переміщення по осях, так само неможливо обробляти внутрішні заглиблення деталі, невеликий ресурс фрези через те, що точка різання знаходиться в невеликій зоні фрези, і нарешті швидкість різання в осьовий зоні фрези набагато менше ніж на зовнішній. Крім цього при такому способі обробки складно враховувати наявність оснастки для закріплення, геометрію державки інструменту, обходити необроблювані форми деталі.

2.3 Позиційна п'ятикоординатна обробка

При позиційній обробці додаткові осі використовуються тільки для зміни положення заготовки або інструменту відносно один одного, а інші операції проводяться в режимі трьохкоординатної обробки, аналогічно звичайному трьохкоординатному верстату з ЧПУ[18]. Позиційна 5-тиосьова обробка дає можливість застосування високошвидкісного фрезерування.

Високошвидкісна обробка (ВШО) (Highspeedcutting (HSC)) – один із сучасних і важливих напрямів у машинобудуванні (рисунок 2.4). Для високошвидкісної обробки головним принципом є: невелика величина матеріалу, що знімається з великою швидкістю різання і високим значенням подачі.

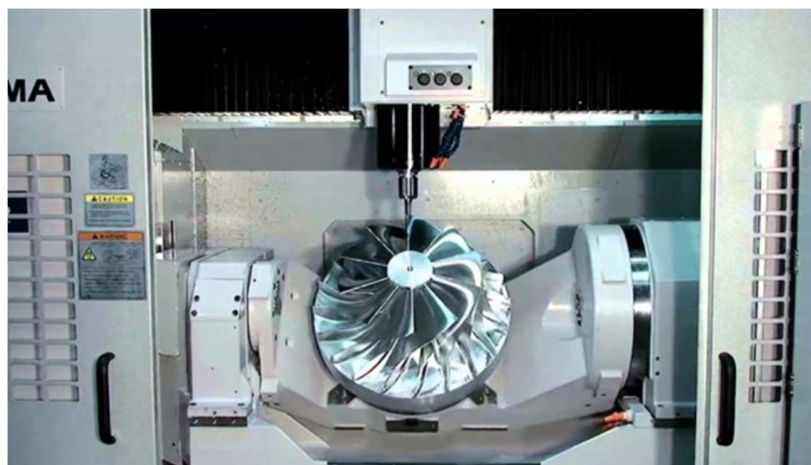


Рисунок 2.3 – Високошвидкісна обробка металу на п'ятиосьовому фрезерному верстаті з ЧПУ

Дані режими в 4-8 разів більші, ніж режими при звичайній обробці. Рекомендується брати глибину різання, яка не перевищує 15% від діаметра фрези. Робота в умовах високошвидкісних режимів відрізняється своїми характерними рисами, висуваючи ряд особливих вимог до УП, ріжучого інструменту та обладнання в цілому [21, 23].

При розробці УП для способу ВШО значення кроку і глибина різання задається в кілька разів менші, ніж аналогічні показники для режимів звичайного фрезерування. Задана траєкторія руху фрези має бути плавною. Різкі зміни швидкостей подач та напрямків переміщень є неприпустимими. Найчастіше прості лінійні переміщення замінюються петлеподібними, використовуючи трехоїдальну траєкторію. Врізання фрези в метал повинно здійснюватися під малим кутом або гвинтовою траєкторією, але не вертикально (рисунок 2.4). Тільки в цьому випадку залишається можливість зберегти показники режимів різання без змін, що оптимізує навантаження на фрезу і виключає її злам.

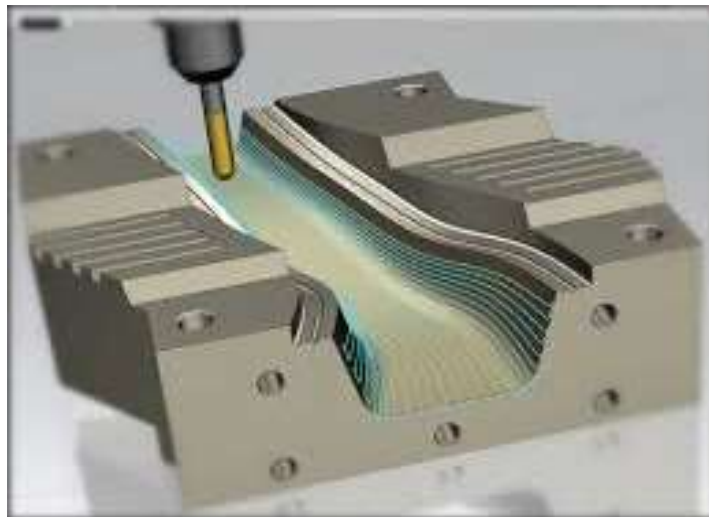


Рисунок 2.4 – Врізання фрези в метал при високошвидкісній обробці

Так як будь-яка робоча програма для методу ВШО містить у собі значну кількість переходів, то розмір (Mb) такої програми може бути більшим за розмір звичайної УП у кілька, а то й у десятки або навіть сотні разів. Процесор системи

ЧПУ обладнання повинен встигати виконувати завдання з відпрацювання кадрів УП і бути обладнаний досить великим об'ємом пам'яті, без якої неможливий процес швидкої підготовки до наступних переміщень. В іншому випадку, система не має у своєму розпорядженні великого програмного буфера для зберігання УП, слід застосовувати альтернативний режим передачі даних – DNC.

Застосування способу ВШО на всіх стадіях процесу обробки заготовки економічно недоцільно. Чорнова обробка часто може проводитися з використанням стандартних інструментів і звичайних режимів різання. Додаткова можливість при фрезерній обробці з використанням п'яти координат – обробка похилих поверхонь торцевими та бічними частинами фрези. Для даного виду механічної обробки використовуються кінцеві та сферичні фрези.

Найбільш складним завданням при проектуванні операційного процесу є визначення раціональної траєкторії робочих переміщень ріжучого інструменту при фрезеруванні кожної зони конкретної поверхні.

2.4 Технологія п'ятикоординатної обробки на фрезерних верстатах з ЧПУ

Більшість сучасних моделей фрезерних верстатів з ЧПУ здійснюють обробку заготовок по трьом незалежним координатам. При цьому різальний інструмент здійснює поздовжнє (X) і поперечне (Y) переміщення у горизонтальній площині (паралельно робочому столу із закріпленою заготовкою), а також вертикальний (Z) рух (у площині, перпендикулярній площині столу верстата).

За наявності спеціального поворотного пристрою (для обробки заготовок циліндричної форми) одне з горизонтальних переміщень (найчастіше – поперечне, вздовж координати Y) замінюється поворотом заготовки навколо своєї поздовжньої осі. У будь-якому випадку, при трьохкоординатній обробці траєкторія руху інструменту визначається лише незалежними координатами X, Y і Z. Але навіть при цьому, технологічні можливості верстата дозволяють забезпечити переміщення

інструменту складною траєкторією і одночасно обробляти декількох поверхонь без зміни положення заготовки.

Переваги 5-координатної обробки не обмежуються обробкою поверхонь зі складним профілем. У сучасному виробництві досить часто зустрічаються деталі, які не мають складних криволінійних поверхонь (зокрема, корпусні), але містять велику кількість складних конструктивних елементів: ребра жорсткості, галтелі та скруглення, припливи, бобишки, а головне – велика кількість отворів, які знаходяться в різних площинах [2]. Ці деталі є складним завданням для технолога-програміста верстату з ЧПУ, який розробляє технологію їх обробки. В цьому випадку, можливість складного взаємного переміщення ріжучого інструменту та заготовки щодо п'яти координат дає можливість проводити обробку великої кількості різних елементів на деталі за один технологічний установ заготовки на верстаті. Це значно економить час, який витрачається на виробництво деталі, крім того, забезпечує високу якість механічної обробки, дозволяючи отримувати деталі з високими вимогами до допусків форм і взаємного розташування поверхонь.

Виходячи з вище сказаного стає очевидно, що при розширенні кінематики верстата до п'яти координат, його можливості зростають багаторазово. Таким чином, відмінністю п'ятикоординатної обробки від обробки по трьох координат є, те що до вищеописаних рухів по трьох координат додається поворот навколо двох додаткових осей (тобто нахил інструменту).

Насправді зміна кута нахилу інструменту щодо заготовки може здійснюватися як поворотом робочого стола (платформи), та/або нахилом самого шпинделя. Відповідне ускладнення конструкції верстата та його здорожчення компенсується істотним розширенням технологічних можливостей механічної обробки, що тягне за собою збільшення номенклатури деталей, які виготовляються.

Багатоосьова обробка знаходить застосування у виготовленні деталей найскладніших форм для лиття, пуансонів, матриць та інших об'ємних елементів зі складними поверхнями. Застосування п'ятиосьової обробки значно розширює

можливості виробництва, але досягнення заданих конструктором параметрів якості та точності виготовлення деталей можливе лише при ретельній розробці економічно обґрунтованого технологічного процесу обробки та розробленої та оптимізованої керуючої програми для обладнання з ЧПУ.

2.5 3D корекція

Найчастіше технологу-програмісту-оператору, під час створення керуючої програми, доводиться здійснювати побудову додаткових напрямних поверхонь і обмеження кута нахилу ріжучого інструмента. Термін корекція 3D часто використовується, коли темою є метод об'ємної обробки. У випадку зі звичайним плоским фрезеруванням можна зробити коригування інструменту на радіус зліва (G41) або праворуч (G42) від заданого контуру обробки, тобто перпендикулярно до поверхні, що обробляється в точці контакту з фрезою.

При використанні 3D-корекції ситуація аналогічна. Відмінність полягає в тому, що необхідно знати вектор розташування фрези та вектор перпендикуляра поверхні у точці контакту з інструментом. Беручи до уваги взаємне розташування цих векторів і коригувального значення, система верстата з ЧПУ здійснює розрахунок зміщення в просторі ріжучого інструменту, без зміни його розташування та встановленої точки контакту.

2.6 Практичне впровадження п'ятикоординатної обробки у реальному виробництві

Впровадження автоматизації на виробництві дозволяє істотно підвищити якість продукції, зменшити кількість співробітників, залучених у процес виробництва, і відчутно збільшити продуктивність. Досить часто випадки такого впровадження є інноваційними для конкретного підприємства або навіть для всієї галузі в цілому. З урахуванням теми, у цій роботі розглядаються процеси автоматизації пов'язані з механічною обробкою.

Наочним прикладом одного з локальних інноваційних впроваджень засобів автоматизації є досвід СП ТОВ «Модерн-Експо» та стратегія розвитку виробництва ТЗОВ «ВКФ «БУДСЕРВІС». Маючи у розпорядженні дільницю механічного цеху, оснащену трьохкоординатними фрезерними верстатами з ЧПУ, обробка конструктивно складних деталей з п'ятьма та більше площинами обробки. Даний спосіб отримання деталей тривалий час залишався безальтернативним, незважаючи на те, що процес виготовлення займав значний час, що призводило до збільшення витрат на виробництво даних деталей та виробів у цілому.

В результаті економічного та виробничого аналізу було прийнято рішення про оснащення даної дільниці фрезерними п'ятикоординатними обробними центрами з ЧПУ. Дане рішення дозволило перевести складнопрофільні деталі з трьох на п'ятикоординатну обробку, розширити номенклатуру деталей, що виготовляються, знизити витрати на виробництво і закласти основу для подальшої роботизації механічної дільниці.

В рамках даної кваліфікаційної роботи було проведено вдосконалення технології виготовлення деталі «Кронштейн» з наявного трьохкоординатного фрезерного верстата з ЧПУ на обладнання, яке дозволяє вести обробку по п'яти координатах. Опираючись на весь досвід виготовлення деталей за попередньою технологією, враховуючи складність деталі та наявність нового обладнання, було здійснено переведення технології виготовлення на нове обладнання. Відповідно було використано для оброблення деталей п'ятикоординатний фрезерний обробний центр Leadwell V-40iT із системою ЧПУ Fanuc 0i-MD (рисунок 2.5).

У порівнянні з технологією, яка використовує трьохкоординатну обробку, можна відзначити відмінні позитивні особливості нового процесу виготовлення деталі: усі операції ЧПУ об'єднуються за одну, з допомогою обробки за один установ; скорочується кількість слюсарних операцій та термічної обробки до однієї;

значне скорочення часу на ЧПУ операції; скорочення витрат на інструмент та виготовлення унікального технологічного оснащення; відсутність браку деталей, у результаті не стикування проміжних операцій.



Рисунок 2.5 –П'ятикоординатний фрезерний обробний центр Leadwell V-40iT

Як і будь-яка інша, дана технологія має свої недоліки. Основними проблемними місцями є: витрати придбання устаткування; витрати на придбання програмного забезпечення та постпроцесора; трудомісткий і витратний за часом процес створення УП, що вимагає високої кваліфікації технолога-програміста-оператора.

Поеднавши нові наявні верстати з роботом-змінником палет, установкою загального складу заготовок, можна отримати невеликих розмірів автоматизовану гнучку виробничу систему. Дане рішення дозволить вести обробку деталей у безлюдному режимі, під контролем одного оператора, що дозволить знизити час на виготовлення одиниці продукції.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА УПРАВЛЯЮЧОЇ ПРОГРАМИ. ВПРОВАДЖЕННЯ УП У РЕАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

3.1 Розробка управляючих програм

Виготовлення деталі на сучасному обладнанні з ЧПУ умовно може бути поділено на два етапи – створення керуючої програми (УП) та її реалізація безпосередньо механічною обробкою заготовки на верстаті. І якщо фізичні можливості п'ятикоординатної обробки визначаються типом обладнання і, за великим рахунком, не залежать від обслуговуючого персоналу, розробка УП повністю залежить від людського фактору.

Процес розробки технології обробки, створення та впровадження УП для верстата з ЧПУ можна представити у вигляді наступних етапів [4, 8, 12]:

- аналіз конструкції деталі;
- вибір металообробного обладнання;
- визначення схеми базування заготовки на столі верстата;
- послідовність оброблення;
- вибір металорізального інструменту
- створення керуючої програми
- налагодження верстата;
- відпрацювання першої пробної деталі
- перевірка першої деталі на відповідність технічним вимогам, заданим у технічному завданні (конструкторська документація);
- коригування та оптимізація (опціонально, за потреби) УП
- запуск другої та наступних деталей.

Принцип роботи програміста-технолога-оператора на устаткуванні з ЧПУ має однакову послідовність. З використанням САМ-системи проводиться розробка

траєкторій руху інструменту УП. Ця програма, надалі, перетворюється на програмний код. Кожна система ЧПУ має особливості кодування. Завдання програміста, вибрати для кожної деталі найефективніші способи та стратегії обробки. До них відносяться чорнові переходи, які забезпечують видалення більшої частини матеріалу заготовки, стратегії напівчистої обробки і безпосередньо чистові переходи.

Для кожної стратегії визначаються фіксовані параметри обробки, такі як швидкість подачі столу або інструменту, глибина обробки, величина кроку обробки, мінімальний радіус в кутах, частота обертання шпинделя, точність опису криволінійної траєкторії прямими переміщеннями і різні інші параметри, які в точності визначають режим роботи верстата.

Дещо спрощуючи і акцентуючи увагу на створенні УП можна представити стандартну послідовність програмування верстата з ЧПУ у вигляді наступних етапів:

- розробка власної (або імпорт готової – що в умовах сучасного виробництва зустрічається найчастіше) 3D-моделі деталі;
- побудова траєкторії руху фрези (окремо для кожного етапу обробки – чорнового, чистового та ін.);
- експорт УП з використанням постпроцесора під конкретну модель фрезерного верстата.

Як правило, сучасні CAD/CAM системи для створення УП не прив'язані до конкретного устаткування, тобто дозволяють розробляти технологію обробки «у чистому вигляді». А конкретні особливості кінематики верстата буде враховано спеціальним постпроцесором – під час експорту готових файлів безпосередньо перед завантаженням у ЧПУ.

Постпроцесор – це додаток до САМ-програми (програмний модуль) призначений для перетворення траєкторії обробки в G-код (УП) для певної системи

управління (стійки) конкретного верстата з ЧПУ. Розробляючи постпроцесор, ми маємо справу з двома фундаментальними об'єктами САМ систем:

Траєкторія – крива руху кромки центру інструменту, яку інженер-програміст розраховує в САМ системі. Траєкторія складається з лінійних ділянок та дуг. Набір даних про траєкторію називається CLDATA (CutterLocation DATA). Така інформація не зрозуміла для верстата.

УП – це набір даних у заданому форматі (мовою конкретної системи ЧПУ) для управління переміщенням робочих органів верстата, а також іншими встановленими на ньому пристроями. Серед постпроцесорів слід виділити налаштовані та вбудовані. Вбудовані зазвичай створюються виробниками контролерів ЧПУ. Головний їх недолік – вони недостатньо гнучкі, через обмеженість набору параметрів налаштування. Коли необхідна оптимізація УП або нестандартні функції контролерів, найбільш оптимальні є постпроцесори, які налаштовуються [22].

Основне призначення постпроцесора – це перекодування інформації з формату CLDATA в УП верстата. Таким чином, постпроцесор – це проміжна ланка між САМ системою та верстатом. Однак це не означає, що для створення «справжньої» УП під 5-ти координатний верстат достатньо на фінальному етапі скористатися потрібним постпроцесором – і обмежитися цим. На сьогоднішній момент далеко не всі САМ-системи надають засоби для програмування одночасної обробки по 5 координатах. Адже ця технологія досить складна і обов'язково має передбачати вирішення таких питань як:

- фрезерування за контуром (у тому числі складної форми);
- контроль та підтримання нормалі до оброблюваної поверхні (незалежно від нахилу фрези/заготовки);
- дроблення та відведення стружки (однаково ефективно для різного типу матеріалу та виду фрези – з однією або декількома спіральними канавками тощо);
- повний контроль кута нахилу ріжучого інструмента.

Відповідно САМ-система повинна обов'язково вирішувати ці та низку інших не менш складних питань. Окремо слід згадати обов'язкову вимогу комп'ютерної системи бути здатною оптимізувати маршрут руху фрези по 5-ти координатах, автоматично пропонувати (призначати) параметри фрезерування (швидкість, подачу) для конкретного матеріалу та інструменту (у тому числі нестандартного), бути сумісною (сприймати) різні формати імпортованих даних і т.д.

Без дотримання вищеописаних вимог (насамперед які стосуються САМ-системи), коректну процедура 5-ти координатної обробки буде складно реалізувати, робота дорогого обладнання без використання всіх технологічних можливостей обернеться втратою часу та коштів.

3.2 Програмне забезпечення для виготовлення деталей

Важливим етапом у розробці УП є створення і подальша інтеграція технологічної 3D-моделі в САМ систему, без якої процес програмування виявиться дуже трудомістким або взагалі нездійсненним. Більшість фахівців застосовують САД системи, якщо попередньо дана робота не була зроблена конструкторським підрозділом. Однією з найчастіше використовуваних є продукт компанії DassaultSystemes – SolidWorks (рисунок 3.1) [2, 17].

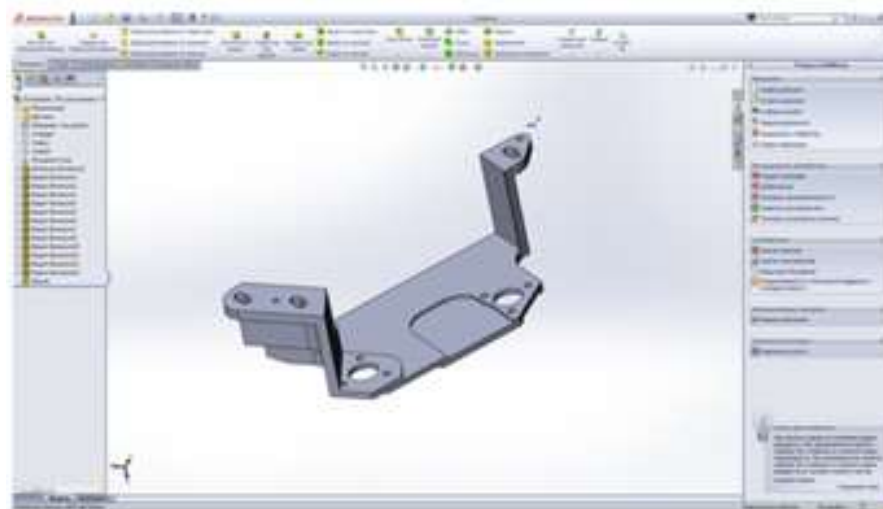


Рисунок 3.1 – 3D модель деталі «Кронштейн» в SolidWorks

SolidWorks є конструкторською системою твердотільного параметричного моделювання машинобудівних конструкцій. Стандартний графічний інтерфейс Windows і засоби твердотільного параметричного моделювання дозволяють швидше і легше, ніж будь-коли створювати тривимірні моделі деталей, складальні одиниці, генерувати креслення. SolidWorks має значний перелік переваг у порівнянні з аналогічними продуктами на ринку. Нижче наведені основні можливості даної системи, використані в роботі:

- створення 3D-моделей деталей;
- інженерний аналіз (розрахунок напружено-деформованого стану);
- аналіз технологічності деталі.

У даній роботі розробку УП проводили в системі Mastercam (рисунок 3.2), яка на даний момент є лідером попиту на світовому ринку ПЗ у даному сегменті. Mastercam – CAD/CAM система для програмування токарної, токарно-фрезерної, фрезерної та електроерозійної обробки, а також обробки дерева, гравіювання, розкрою та різання листового матеріалу на відповідному обладнанні з ЧПУ [10].

Вона дозволяє розробляти в автоматизованому режимі УП по каркасній геометрії та за будь-якими 3D-моделями – як створеними в Mastercam, так і імпортованими в нього за допомогою великого набору прямих і нейтральних трансляторів.

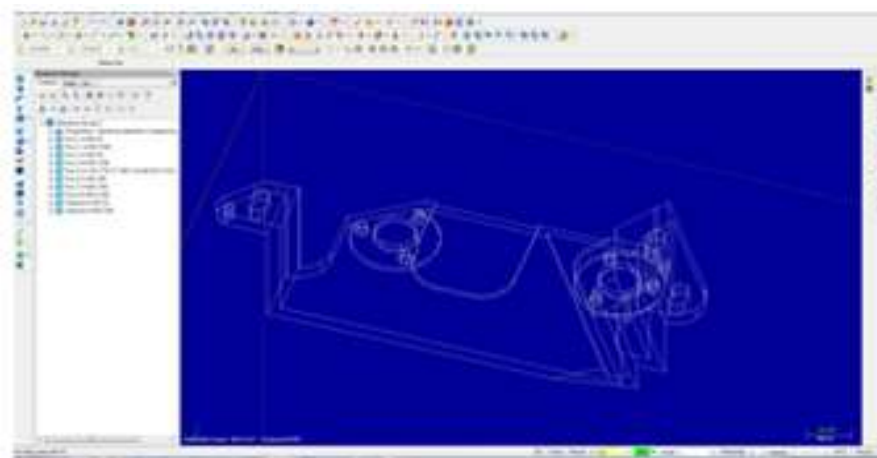


Рисунок 3.2 – Інтерфейс програми Mastercam

До ключових переваг Mastercam відносяться: легкість вивчення та зручність в експлуатації; 2D та 3D каркасне, поверхневе, твердотільне моделювання, оформлення ескізів; бібліотека трансляторів із САD-систем; надійність системи; висока швидкість розрахунків; наочна перевірка створених траєкторій; повна асоціативність геометрії та траєкторій; налаштовувана конфігурація «верстат-пристрій ЧПУ».

Наступним етапом, після отримання УП в початковому вигляді (після перетворень постпроцесора), йде контроль та ручне доопрацювання УП. Програмним засобом для цього є різні редактори, представлені у великому асортименті на ринку, починаючи від вбудованих в САМ систему, закінчуючи повноцінним професійним ПЗ. Одним з таких редакторів є SIMCO Edit – повнофункціональний редактор програм для верстатів з ЧПУ. Інтерфейс програми представлений рисунку 3.3.

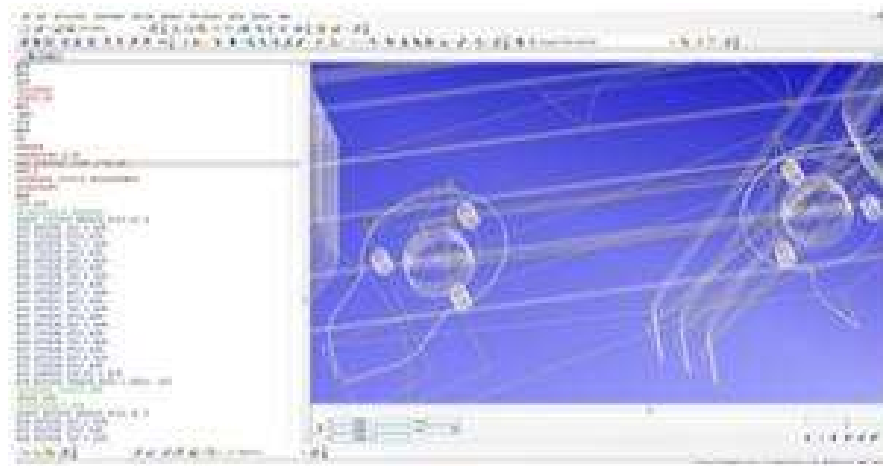


Рисунок 3.3 – Інтерфейс SIMCOEdit

Варто відзначити лише невеликий перелік можливостей даного редактора, використаних у цій роботі, щоб оцінити ефективність даного програмного продукту і всього процесу контролю та ручного коригування УП:

- відсутність обмежень на розмір УП; визначення робочого діапазону УП;

- використання базових математичних функцій (обертання та дзеркальне відображення УП);
- зміна компенсації інструменту;
- промальовування 3D та 2D траєкторій руху інструменту;
- підтримка твердотільної візуалізації з перевіркою на зіткнення та «заїзди»;
- порівняння файлів двох УП, що дозволяє знайти різницю в рядках УП або постпроцесора.

3.3 Структура управляючої програми

Програмування процесу обробки на верстатах з ЧПУ проводиться на мові яку часто називають мовою ISO 7 біт, або мовою G і M кодів. Коди з адресою G є підготовчими та визначають налаштування системи ЧПУ на конкретний вид роботи. Коди з адресою M є допоміжними і призначені для управління режимами роботи обладнання. Наприклад, поставлене завдання, щоб фреза здійснювала рух по прямій лінії, відповідно використовується команда G01. Якщо ж необхідно зробити зміну інструменту, то в УП вказується команда M06. Для управління великою кількістю функцій обладнання з ЧПУ застосовується безліч різних кодів (список G і M кодів наведено в додатках). Для створення УП достатньо вивчити основний набір G і M кодів.

УП є впорядкованим набором команд та дій, за допомогою яких визначаються переміщення виконавчих органів верстата та інші другорядні функції. Будь-яка УП обробки включає кілька рядків. Ці рядки називаються кадрами УП. Кадр УП – це складова частина УП, яка вводиться і відпрацьовується як єдине ціле і містить не менше однієї команди. Система ЧПУ зчитує та виконує програму кадр за кадром. На практиці поширене присвоєння кожному кадру УП свого номера, який розташовується на початку кадру і позначений буквою N. У прикладі, наведеному нижче, представлені номери кадрів з N1 до N14. Велика кількість верстатів із ЧПУ

дозволяють працювати без нумерації кадрів, які застосовуються виключно для простоти зорового сприйняття та зручності навігації за програмою.

Невід'ємною вимогою УП є наявність на початку програми символу «%» і номера програми, який починається з латинської літери «O» і чотирьох цифр після (наприклад, O0010). Дані кадри не впливають на процес обробки, але тим не менш вони необхідні для коректної роботи верстату з ЧПУ та можливості відділення в пам'яті однієї програми від іншої. Номери цих кадрів не вказуються

O0010 (PAZ)

Кадр №1 задає системі ЧПУ певний режим роботи з урахуванням наступних кадрів УП. Наприклад, команда G21 означає, що верстат за базову візьме метричну систему, тобто всі виконані переміщення робочих органів задаються і виконуються в міліметрах, а не в дюймах. Такі кадри носять назви «рядки безпеки» оскільки вони дають можливість перейти системі у певний стандартний режим роботи або скасувати непотрібні функції

N1 G21G40G49G54G80G90

Наступні кадри УП вказують верстату про необхідну підготовку до обробки. Для цього необхідно перемістити інструмент з магазину до шпинделя (кадр N2), включити компенсацію довжини інструменту (кадр N3) і задати шпинделю обертання в необхідному напрямку з необхідною швидкістю (кадр N4). Також, багатьма технологіями використовуються коментарі. Система ЧПУ проігнорує будь-який текст, який знаходиться в круглих дужках. Це дає можливість відзначити в кадрі діаметр інструменту або його маркування.

N2 M06T02(D20_Freza_410120001)

N3 G43H02

N4 M03S3550

Безпосередньо обробка деталі описана у кадрах із номерами від N5 до N13. Ця частина УП містить у собі коди, які слугують для здійснення переміщення інструменту в задані координати. Наприклад, кадр N8 здійснює переміщення

інструмента в точку з координатами X3, Y3 зі значенням швидкості подачі 250 міліметрів на хвилину.

N5 G0X3.Y8.

N6 Z0.5

N7 G01Z-1.F250

N8 X3.Y3.

N9 X7.Y3.

N10 X7.Y8.

N10 Z0.5

Заключні кадри УП призначені для зупинки шпинделя (кадр N12) та завершення програми (кадр N13):

N12 M05

N13 M30

%

Будь-яку УП можна представити схематично у вигляді наступних областей (рисунок 3.4). Під час створення керуючої програми одним з основних етапів є визначення стратегії обробки. Вибір плану обробки поверхні проводиться на підставі поділу оброблюваних поверхонь деталі на основні та неосновні поверхні. Основними є точні поверхні, формоутворюючі, габаритні. До складу неосновних поверхонь включаються малі отвори, малі різьбові отвори, лиски, пази, канавки, фаски, інші подібні поверхні. Основні поверхні та плани їх складають основу для формування послідовності обробки деталі.

Будь-яку УП можна представити схематично у вигляді наступних областей (рисунок 3.4). Під час створення УП одним з основних етапів є визначення стратегії оброблення. Вибір плану обробки поверхні проводиться на підставі розподілу оброблюваних поверхонь деталі на основні та неосновні поверхні.

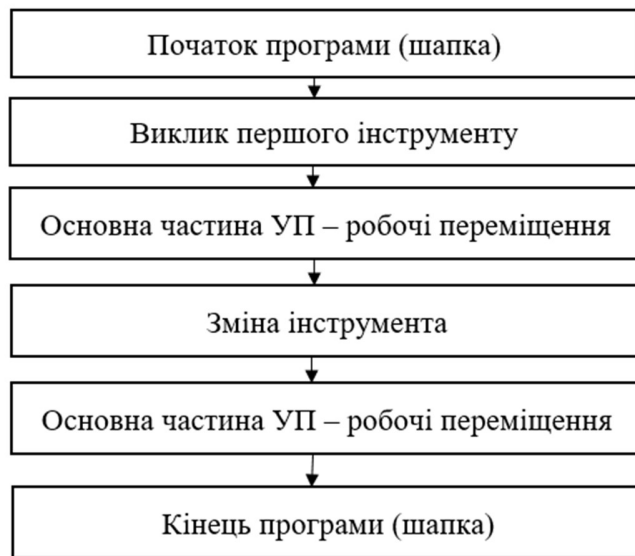


Рисунок 3.4 – Структура УП

Основними є точні поверхні, формоутворюючі, габаритні. До складу неосновних поверхонь включаються малі отвори, малі різьбові отвори, лиски, пази, канавки, фаски, інші подібні поверхні. Основні поверхні та плани їх складають основу для формування послідовності обробки деталі.

3.4 Впровадження управляючої програми у реальному виробництві

Процес впровадження УП з позиції технолога-програміста починається з перенесення УП до системи ЧПУ верстата. Для виконання цієї операції існує кілька способів, які застосовуються в залежності від того, яким набором інтерфейсів оснащений верстат з ЧПУ. Найбільшого поширення у сучасному обладнанні з ЧПУ набули такі інтерфейси як: USB 2.0, Ethernet, CF.

У цьому дослідженні було проведено впровадження УП на п'ятикоординатний фрезерний обробний центр LeadwellV-40iT, оснащений системою числового управління Fanuc 0i-MD, що знаходиться на території цеху механічної обробки СП ТОВ «Модерн-Експо». Даний обробний центр підтримує всі з вищеперерахованих інтерфейси передачі даних з ПК на стійку верстата. Вибір

способу завантаження УП в пам'ять верстата залишається за оператором або налагоджувальником. При відпрацюванні програми використали спосіб передачі через інтерфейс CF за допомогою Flash-карти.

Подальшій дії щодо реалізації УП до отримання першої деталі, виконує оператор, використовуючи функціонал стійки верстата з ЧПУ.

У цьому розділі було розглянуто основні принципи і структуру розробки УП, розглянуто процес впровадження розробленої УП у виробництві з допомогою п'ятикоординатного устаткування, з урахуванням існуючого підприємства.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ. РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІ У МОМЕНТ ОБРОБКИ

4.1 Результати відпрацювання першої деталі

У більшості випадків, при використанні п'ятикоординатного обладнання, результатом обробки заготовки за новою УП є деталь максимально наближена за своїм зовнішнім виглядом до того, який встановлений інженером-конструктором в конструкторському кресленні. Проте є випадки, коли технологічний процес містить подальші операції з механічною обробкою або заготовка зазнала деформацій та пошкоджень, які не можна врахувати на стадії верифікації та підготовки виробництва (неякісний матеріал у постачанні, обмежений математичний функціонал верифікатора, поломка інструменту, перебої з електропостачанням) і т.д.).

В результаті обробки на першій деталі було виявлено ряд дефектів, які не дозволяють вважати цю деталь придатною і продовжувати подальший технологічний процес з її використанням. До таких дефектів відносяться зарізи (рисунок 4.1) у тіло деталі та дроблення матеріалу (рисунок 4.2).



Рисунок 4.1 – Дефекти (зарізи) під час оброблення першої деталі «Кронштейн»

Даний вид зарізів інструменту не належить до «стандартних» зарізів, які виникають при некоректному написанні УП. В даному випадку виникає так зване «затягування» фрези в матеріал, що виникає через пружні деформації технологічної системи під дією сил різання.

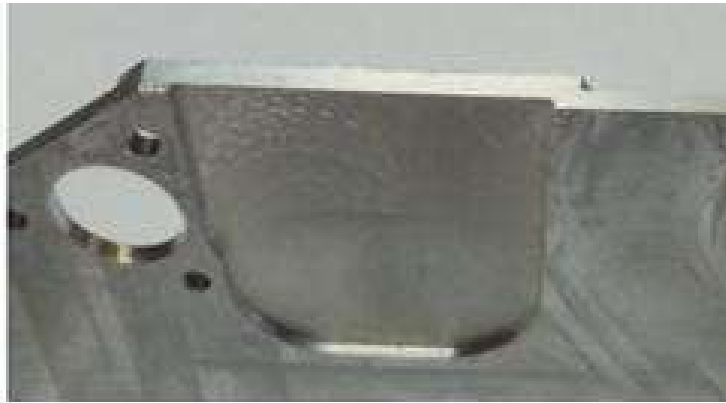


Рисунок 4.2 –Дроблення матеріалу

4.2 Сили різання при фрезерній обробці на верстатах з ЧПУ

Сили різання при контурному фрезеруванні на верстаті з ЧПУ у місцях різкої зміни траєкторії відносного руху змінюються внаслідок різної зміни глибини різання. Варто розглянути цей процес для аналізу його природи та подальшого врахування отриманих відомостей для коригування та оптимізації УУ.

На заготовку зі сторони фрези діють складові сили різання: тангенціальна P_Z та радіальна P_r (рисунок 4.3). Значення цих сил залежать від параметрів режиму обробки та значною мірою від поточної глибини різання, яка визначає кут контакту фрези із заготовкою Θ . За постійних умов обробки можна вважати, що складові P_H та P_V , значення Θ невідоме. Додаванням векторів P_Z і P_r визначають результуючу силу різання R . Останню у свою чергу можна представити як суму сил, що діють у напрямках: паралельному подачі P_H і перпендикулярному подачі P_V . Значення Θ невідоме. Додаванням векторів P_Z і P_r визначають результуючу силу різання R . Останню у свою чергу можна представити як суму сил, що діють у напрямках: паралельному подачі P_H і перпендикулярному подачі P_V .

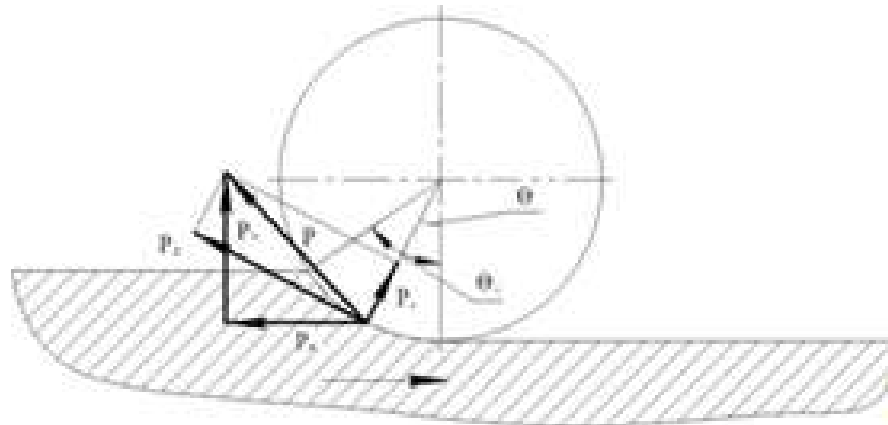


Рисунок 4.3 – Схема силової взаємодії кінцевої фрези та заготовки при плоскому контурному зустрічному фрезеруванні прикладені в деякій точці, яка визначається значенням центрального кута Θ

Головний вплив на величину похибки контуру надає складова сили різання P_V , що лежить в площині перпендикулярній осі інструменту та перпендикулярна напрямку подачі. Сила P_V , паралельна напрямку подачі, по модулю здебільшого сили P_H . Вона впливає на величини похибки контуру лише в місцях різкої зміни траєкторії відносного руху фрези і оброблюваної деталі. З геометричних співвідношень між силами різання, які виникають у процесі зустрічного фрезерування, можна записати:

$$\begin{cases} P = \sqrt{P_z^2 + P_r^2} \sin\left(\Theta - \arctg \frac{P_r}{P_z}\right) \\ P_H = \sqrt{P_z^2 + P_r^2} \cos\left(\Theta - \arctg \frac{P_r}{P_z}\right) \end{cases}$$

де P_z – окружна сила різання, направлена щодо фрези в точці прикладання сили, Н;

P_r – радіальна сила різання, направлена по нормалі до фрези в точці прикладання сили, Н;

Θ_i – кутова координата (центральный кут) точки прикладання сили різання, градуси.

Із аналізу даних співвідношення видно, що при зустрічному фрезеруванні можна створити такі умови обробки, при яких сила P_v дорівнює нулю, а отже, похибка контуру відсутня. Очевидно, знак сили P_v визначається знаком за формулою:

$$\left(\Theta - \operatorname{arctg} \frac{P_r}{P_z} \right)$$

При $\Theta = \operatorname{arctg} \frac{P_r}{P_z} > 0$ відбувається затягування фрези у тіло деталі.

При $\Theta = \operatorname{arctg} \frac{P_r}{P_z} < 0$ відбувається віджимання фрези.

При $\Theta = \operatorname{arctg} \frac{P_r}{P_z} = 0$ P_v – стала

Дані висновки про отримані залежності сил будуть враховані при подальшій оптимізації існуючої УП і надалі при розробці нових.

4.3 Вібрації при фрезерній обробці на верстатах з ЧПУ

Другий тип дефекту – дроблення матеріалу (рисунок 4.2) відноситься до категорії спричинених виникненням вібрацій у зоні різання, внаслідок «віджимання» заготовки.

При зустрічному фрезеруванні навантаження на зуб фрези зростає від нуля до максимуму, при цьому сила, що діє на заготовку, прагне відірвати її від столу, що призводить до вібрацій та збільшення шорсткості обробленої поверхні. Для подальшої оптимізації необхідно розглянути причини виникнення таких вібрацій та виділити способи їхнього зменшення.

Вібрації завжди супроводжують будь-який процес механічної обробки та є одним із негативних факторів відповідно існують різні шляхи їх зменшення під час обробки:

- збільшення жорсткості технологічної системи (зменшення вильоту інструменту);
- уникати переривчастого різання (зменшення кроку зубів фрези);
- балансування частин технологічної системи, які швидко обертаються;
- усунення дефектів у передачах та кінематичних ланцюгах верстата;
- ізоляція технологічної системи від зовнішніх джерел вібрації (віброопори, ізольовані фундаменти тощо);
- вибір оптимальних режимів різання;
- застосування оптимальних МОР (зменшення тертя у зоні різання).
- використання інструменту з раціональною геометрією.

4.4 Розрахунок напружено деформованого стану

Напружено деформований стан (НДС) конструкції – сукупність внутрішніх напружень та деформацій, що виникають при дії на неї зовнішніх навантажень, температурних полів та інших факторів [5]. Напружено деформований стан визначається двома способами – розрахунковим та експериментальним, у вигляді розподілу напружень, деформацій та переміщень у конструкції. НДС є головним критерієм для оцінки статичної міцності та ресурсу деталі чи конструкцій на всіх етапах життєвого циклу виробу.

При розрахунку напружено деформованого стану особливо ідеалізується розрахункова схема. З використанням сучасних універсальних чисельних методів розрахунку складна конструкція може розглядатися як сукупність простих механічних елементів (балок, пластин, стрижнів). НДС поділяється на місцевий та загальний. Загальний НДС визначається в силових елементах конструкції без урахування концентрації напружень, викликаних місцевими конструктивно-технологічними особливостями (отворами, виточками тощо.). Місцевий НДС визначається в районі концентратора напружень і враховує вид концентратора та прикладене навантаження [24].

Фрезерування характеризуються найбільш складною кінематикою і динамікою різання, пов'язаною зі зміною зрізаного шару металу, ударністю процесу врізання і його періодичною повторюваністю. Для дослідження аспектів фрезерування застосовується аналіз напружено деформованого стану заготовки в момент механічної обробки. Напружено-деформований стан при різанні визначається геометрією ріжучого інструменту і фізико-механічними властивостями оброблюваного матеріалу. Він найчастіше описується моделлю асиметричного гострозаточеного клину, що врізається в пружно-пластичне тверде тіло і здійснює ковзання в напрямку площини різання, при цьому товщина зрізу є постійною.

У даній роботі розрахунок НДС зроблено для визначення процесів які відбуваються під час обробки заготовки, у тих зонах, де спостерігаються зарізи і дроблення матеріалу. Для цього використали модуль інженерного аналізу SolidWorks Simulation.

При фрезерній обробці для розрахунку НДС необхідно знати навантаження, з якими інструмент діє на заготовку. До таких навантажень відноситься окружна сила різання і крутний момент при фрезеруванні. Окружна сила різання (тангенціальна) найбільш важлива сила, так як вона виконує основну роботу різання і по ній розраховують крутний момент. Розрахунок даних навантажень зроблено за формулами:

$$P = 10 \cdot C \cdot t^x \cdot S^y \cdot B \cdot z \cdot D^q, \text{ Н} \quad (4.2)$$

де C – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу та матеріалу з якого виготовлений ріжучий інструмент;

t^x – глибина фрезерування, мм;

S^y – подача, мм/зуб;

B – ширина фрезерування, мм;

z – число зубів фрези, шт;

D^q – діаметр різального інструмента, мм;

x, y, q – показники ступенів залежні від оброблюваного матеріалу та матеріалу з якого виготовлений різальний інструмент.

$$M_{кр} = P \cdot \frac{D}{2}, \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (4.3)$$

де P – окружна сила Н;

D – діаметр різального інструмента, мм.

Розрахунок НДС у момент виникнення «зтягування». Для запобігання подальшому виникненню зарізів проводиться аналіз НДС деталі в моменти, коли утворилися дані дефекти. Інформацію про момент обробки, в який відбулося зтягування інструменту, як правило, повідомляє наладчик, який проводив обробку першої деталі. Використавши формули (4.1) і (4.2) проводиться розрахунок навантажень, які діють у процесі обробки. Коефіцієнт C вказується в довідкових таблицях для кожного матеріалу окремо. Для алюмінію значення дорівнює 40.

Зважаючи на те, що випадок пошкодження деталі (рисунок 4.1 та 4.2) сталися на чистових проходах ріжучого інструменту, для розрахунку сили різання величина t приймається рівною величиною знімання чистового проходу – 0,05 мм. Подача на зуб можна визначити двома способами. Перший спосіб – це стандартне значення з каталогу ріжучого інструменту. Другий спосіб має на увазі під собою той факт, що з урахуванням досвіду впровадження великої кількості керуючих програм на певному типі обладнання і сталістю матеріалу, що поставляється, технолог-програміст задає власні значення подачі на зуб або швидкості подачі столу верстата. При використанні параметра швидкості подачі столу верстата для отримання необхідного значення S проводиться перерахунок значення за формулою:

$$S = \frac{V_c}{N \cdot z}, \text{ мм} \quad (4.4)$$

де S – подача на зуб, мм;

V_c – швидкість подачі столу, мм/хв;

N – частота обертання шпинделя, об/хв;

z – кількість зубів фрези, шт.

Маючи значення $V_c = 400$ мм/хв, $N = 2000$ об/хв і $z = 3$, отримуємо значення $S = 0,027$ мм. Ширина фрезерування встановлюється рівною 40% від діаметра фрези 20 мм, та дорівнює 8 мм. Число зубів фрези $z = 3$.

Підставивши значення у формули (4.2) та (4.3) отримаємо:

$$P = 278,9 \text{ Н}$$

$$M_{кр} = 2789 \text{ Н}\cdot\text{мм.}$$

Застосувавши отримані дані для розрахунку НДС, отримуємо епюру напруги за Мізесом (пластична деформація настає тоді, коли інтенсивність напружень досягає величини, яка дорівнює межі текучості при напруженому стані) , що показано на рисунку 4.4.

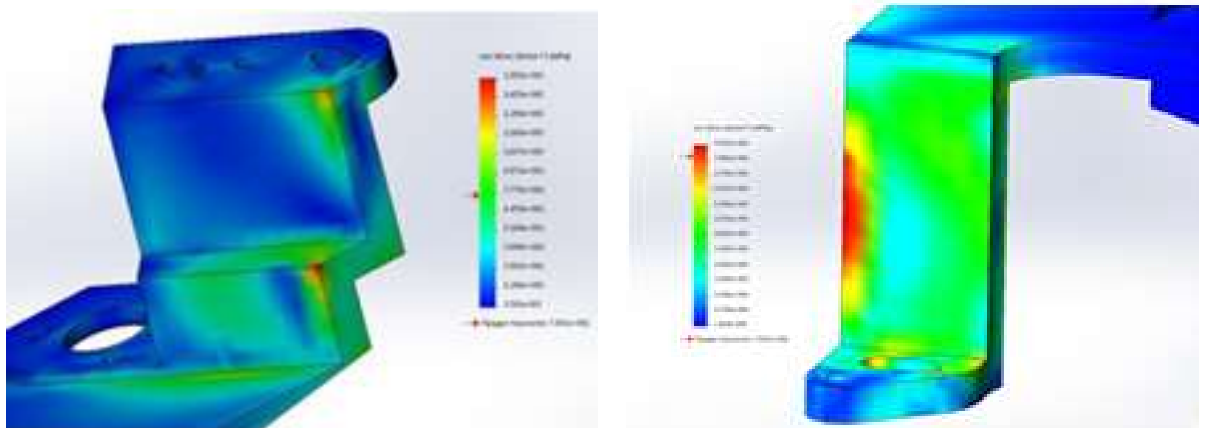


Рисунок 4.4 – Епюра напружень для деталі «Кронштейн»

Як видно з отриманих епюр, в зонах відзначених червоним і жовтим кольором, напруження перевершують межу плинності, що встановлена для даного матеріалу, утворюючи в цьому місці пластичну деформацію з подальшим «затягуванням» фрези в тіло деталі.

Розрахунок НДС у момент виникнення дефекту «дроблення матеріалу» так само як і в попередньому випадку, для виявлення слабких місць УП в процесі обробки, у момент виникнення дроблення матеріалу.

Зважаючи на той факт, що процес дроблення викликаний вібраціями, які виникають у момент врізання різального інструменту в заготовку, розрахунок НДС проводиться на визначення величини відхилення («віджимання») заготовки від інструменту. Для подальшого розрахунку використовуємо ті самі формули, що у й у попередньому випадку та відповідно отримали

$$P = 465 \text{ Н}$$

$$M_{кр} = 4650 \text{ Н}\cdot\text{мм.}$$

Використовуючи аналогічний алгоритм, отримуємо епюру просторових зміщень, яка зображена на рисунку 4.5.

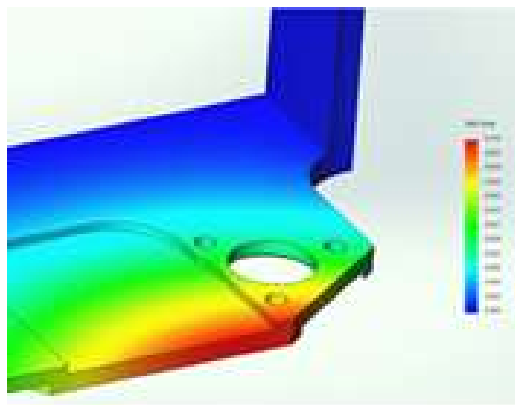


Рисунок 4.5 – Епюра зміщень для деталі «Кронштейн»

Як видно з епюри, в точці заходу фрези в деталь створюються максимальні відхилення від площини 35 мікрон. Слід зазначити, що величина зміщення різко знижується при подальшому заході різального інструменту в матеріал, тим самим зменшуючи вібрації, що добре видно на деталі (рисунок 4.2) і на представленій епюрі (рисунок 4.5).

Підсумовуючи, можна сказати, що завдяки проведеному аналізу та дослідженням НДС було визначено природу дефектів обробки та виявлено «слабкі» місця УП. Також можна відзначити, що можливості САМ системи, яку використовували для створення УП, та її верифікатора не дозволили виявити дані

дефекти на стадії розробки УП, давши тим самим можливість для коригування та оптимізації.

РОЗДІЛ 5

ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛЯЮЧОЇ ПРОГРАМИ

5.1 Можливі способи оптимізації УП

Оптимізацією УП називають такі перетворення, які дозволяють зробити її ефективнішою, тобто зробити її більш економною по пам'яті та/або швидше за виконання тих же функцій, що і до оптимізаційного перетворення. При програмуванні верстатів із ЧПУ необхідно використовувати програмні засоби, основне завдання яких – симулювати процеси, що відбуваються з технологічною системою (обладнанням, інструментом, заготовкою). Разом з цим, значну роль ефективності підприємства продовжує відігравати чинник часу, який відображається у скороченні часу затрачуваного на розробку виробу.

Підприємства, які мають на меті знизити витрати та підняти ефективність свого виробництва, часто вкладають великі кошти на придбання сучасних верстатів з ЧПУ. Але, як показує практика, неефективно розвивати в одному напрямку засоби виробництва (верстати), необхідність постійного розвитку програмного забезпечення, яке використовується в технологічному та конструкторському відділах, є такою ж невід'ємною частиною досягнення необхідного ефекту. Існує велика кількість прикладів, коли невеликий час, витрачений на перевірку УП до її запуску на устаткуванні, дозволяв зберегти дороге обладнання, оснащення та інструмент. Одним з таких програмних інструментів, створених безпосередньо для цих цілей, є ПЗ контролю NC-програм (верифікатори УП).

ПЗ може забезпечувати гарантії, що деталь, яка отримана відразу після першого прогону УП буде правильною, і тому наладчик не повинен знаходитися біля верстата, щоб спостерігати за процесом обробки першої деталі. Окрім цього, певну користь приносить можливість верифікаторів NC-програм оптимізувати режими обробки, зокрема швидкості подачі, час виробничого циклу, ресурс

інструменту та якість деталі можуть збільшитися внаслідок вдосконаленого контролю за швидкістю подачі.

Розглядаючи оптимізацію на конкретному прикладі (оптимізація УП) виділимо основні методи, якими можливе проведення поліпшення УП:

- ручна оптимізація;
- застосування розрахунку НДС;
- оптимізація з використанням ПЗ;
- створення плагінів для САМ системи або редакторів УП.

З цього переліку методів оптимізації УП, ручне доведення УП є трудомістким процесом. У свою основу даний принцип закладає перехідну перевірку УП технологом-програмістом, на предмет виявлення зайвих траєкторій руху інструменту, некоректно заданих режимів обробки для певних переходів, скорочення кількості холостих переміщень і т.д. Дана робота вимагає досвіду в ручному написанні УП, знання основних G і M кодів, кінематики верстата і певного рівня уважності від інженера. Даний метод дозволяє провести лише загальну оптимізацію УП, не торкаючись моментів щодо нестандартних впливів між елементами системи ВПД.

5.2 Оптимізація УП із застосуванням розрахунку НДС

Метод оптимізації УП, із застосуванням даних, отриманих при розрахунку напружено деформованого стану (НДС), є сукупністю інженерного аналізу, розробки УП з використанням САМ систем та методу ручної оптимізації.

Даний метод дозволяє провести більш поглиблену оптимізацію порівняно з ручною оптимізацією, здійснюючи коригування траєкторій руху ріжучого інструменту та режимів обробки з урахуванням розрахунку НДС деталі, у момент утворення зарізів та дроблення.

Принцип роботи цього методу розглянемо на наявній деталі «Кронштейн». За вихідні дані в даному методі береться перша готова деталь, її 3D-модель, дані про ріжучий інструмент і УП.

Опираючись на аналіз дефектів першої деталі та розрахунки НДС (п.4), маємо вихідні дані для коригування коду УП. У зв'язку з тим, що природа між дефектами зображеними на рисунках 4.1 і 4.2 різна, шляхи оптимізації будуть різнитися. Найбільш помітним та більш критичним дефектом є «затягування» фрези в тіло деталі. Цей процес негативно впливає на всі елементи технологічної системи і має бути усунений в першу чергу.

Встановивши природу та момент виникнення дефекту (обробка на чистовому проході зі зніманням припуску 0,05 мм.), проводиться коригування значень параметрів обробки (величина припуску, режими обробки, зміна траєкторії обробки) та проводиться повторний розрахунок НДС.

Для отримання оптимальних значень напружень, які не перевищують межу текучості для даного матеріалу, необхідно зробити зміни величин подачі на зуб, обертів шпинделя і величини припуску.

Для першого перерахунку приймемо значення $V = 100$ мм/хв, $S = 5500$ об/хв та $t = 0.01$ мм. Використовуючи дані значення, отримуємо величину $P = 21,5$ Н і $M = 215$ Н·мм. Застосувавши ці дані до розрахунку НДС, отримуємо епюру напружень зображену на рисунку 5.1.

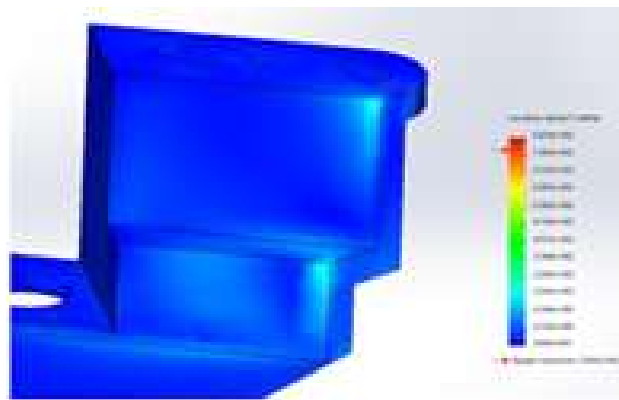


Рисунок 5.1 – Епюра напружень для першого перерахунку

Як видно з цієї епюри, значення прийнятих вихідних даних виявилися занадто малі. В результаті цього дослідження можна виділити як сильні, так і слабкі сторони. До позитивної сторони відноситься те, що при даних режимах і величині знімання матеріалу, гарантовано виключена можливість пошкодження деталі та виникнення зарізу в цьому місці обробки.

До недоліків можна віднести те, що зменшення значення подачі та величини припуску, призводить до збільшення часу відпрацювання кадру УП, що при загальному використанні може значно збільшити час всієї програми в цілому. Тому слід підібрати такі значення параметрів обробки, які забезпечуватимуть одночасно і якість деталі та відносно короткий час програми.

Провівши серію розрахунків НДС, були підібрані оптимальні значення величин режимів обробки та припуску. При значеннях $V = 200$ мм/хв, $S = 5000$ об/хв і $t = 0,03$ мм, була отримана епюра, яка максимально відповідає вимогам оптимізації. Аналогічно проводиться розрахунок НДС для другої ділянки деталі, на якій відбулося «затягування» інструменту. Було встановлено оптимальні значення подачі, оборотів та глибини різання. $V = 280$ мм/хв, $S = 5200$ об/хв; $t = 0.04$ мм. Епюри напружень представлені рисунку 5.2

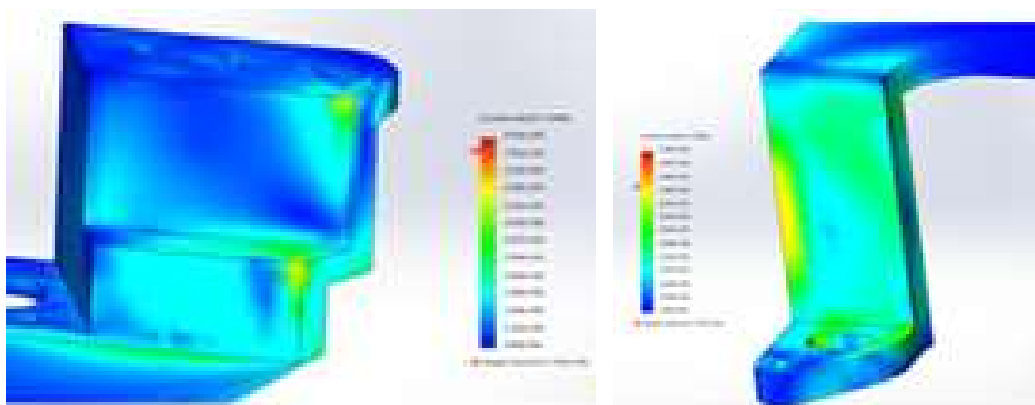


Рисунок 5.2 – Епюра напружень для оптимальних режимів різання

Методика розрахунку НДС для ділянки деталі, у якому виникли вібрації, проводиться аналогічно. Відмінністю є критерій оцінки у зв'язку з різною природою дефекту. Якщо попередніх розрахунках проводилася оцінка за величиною напружень на деталі, то в даних розрахунках, оцінка ведеться за величиною переміщення деталі в останній момент обробки щодо свого статичного положення.

Використавши раніше отримані дані і провівши серію розрахунків НДС, були отримані такі значення величин, які впливають на якість поверхні: $V = 240$ мм/хв., $S = 5000$ об/хв., $t = 0,04$ мм. Дані зображені на рисунку 5.3 вказують на те, що величина відхилення не перевищує допустиме значення, отже, з використанням отриманих значень, виникнення вібрацій які призводять до дефекту поверхні виключено.



Рисунок 5.3 – Епюра зміщень для другої ділянки деталі «Кронштейн»

Вибір одного із способів коригування УП, цілком і повністю лягатиме на технолога-програміста або оператора верстату з ЧПУ, який враховує всі фактори, які впливають на розробку та оптимізацію.

Проводячи загальне порівняння всіх методів оптимізації перерахованих вище, можна назвати, кожен спосіб по-своєму унікальний і має кінцевого

користувача. Завдання, що вирішуються на виробництвах настільки різні, що з точністю стверджувати, що даний метод є єдино вірним і задовольняє всім критеріям, годі й говорити.

З точністю можна стверджувати, що після оптимізації УП збільшується ефективність роботи механообробного обладнання – в залежності від методу час обробки скорочується від 10% до 50%, зменшуючи тим самим машинний час, що включає в себе основний (час, безпосередньо, механічної обробки) та допоміжний наприклад час, що витрачається на зміну інструменту. Збільшується стійкість різального інструменту, за рахунок оптимальних режимів обробки для конкретних ділянок деталі. Так само зменшуються навантаження, які діють на робочі органи верстатів (наприклад, ударні навантаження при різкій зміні типу переміщення столу з робочої подачі на холостий хід, при великих різницях у значеннях цих подач). Це дозволяє продовжити термін служби механообробного обладнання та збільшити його робочий час.

5.3 Оцінка результатів деталі «Кронштейн» отриманої за оптимізованою УП

Результатом будь-якого з методів оптимізації є скоригована певним чином УП. Реальний ефект проведених змін спостерігається при повторному відпрацюванні УП на верстаті з ЧПУ. Результатом цієї обробки буде друга деталь.

Як правило, після всіх коригувань УП, наступні деталі оброблені по ній є 100% придатними (не беруться фактори пов'язані зі зношенням інструменту, неякісним матеріалом та іншими впливами, що не залежать від технолога-програміста). У процесі відпрацювання оптимізованої УП, була отримана деталь без дефектів на поверхні і задовольняє всі технічні вимоги, встановлені в конструкторській документації (рисунок 5.4).



Рисунок 5.4 – Деталь «Кронштейн» після оптимізації УП

Як видно на представлених зображеннях, дефекти, які були присутні на першій обробленій деталі, відсутні. Також результатом оптимізації стало скорочення часу обробки, за рахунок зменшення часу роботи обладнання на холостих ходах (G00), більш раціонального підведення/відведення, скорочення кількості «порожніх» проходів (по повітрю) та рухів ріжучого інструменту.

5.4 Порівняння методів оптимізації УП використаних у роботі

При можливості вибору методу, з допомогою якого буде проводитися оптимізація УП необхідно визначити потрібну ступінь коригування існуючої програми. У даній роботі, в силу того, що перша деталь мала дефекти оброблення, був використаний метод оптимізації з використанням розрахунку напружено деформованого стану. Результатом стали оптимальні значення режимів обробки та припусків.

Ще одним методом оптимізації використаним у роботі, стало ручне коригування з використанням редактора УП. Позитивною практикою використання даного методу виступили велика кількість зміни ріжучого інструменту, використаного при обробці деталі, та «порожніх» проходів інструменту, викликане недосконалістю алгоритмів САМ системи при створенні траєкторій оброблення деталі та використаного постпроцесора.

Комплексне застосування розглянутих методів практично дає можливість зробити глибшу і детальну оптимізацію. Так, наприклад, розрахунок НДС надає оптимальні дані для конкретного моменту процесу обробки, але в той же час зобов'язує технолога-програміста витратити значну кількість часу на коригування УП в ручному режимі. Застосування програмного модуля дозволяє зробити швидку заміну значень параметрів без використання точного розрахунку, використовуючи лише наближені (інтуїтивні) значення. Ручний метод дозволив зробити попередню підготовку інструменту та виключити переходи, на яких відсутня обробка.

Сукупність використання даних методів дає максимальний ефект і дозволяє скоротити час на процес оптимізації та коригування, дозволяючи отримувати на «виході» абсолютно якісну деталь.

В результаті процесу оптимізації, на прикладі одного і того ж фрагмента обробки, наведеного в додатку за двома УП, варто виділити основні зміни, які вказують на позитивний ефект від проведених змін:

- скорочення часу обробки з 10 хвилин 38 секунд до 6 хвилин 55 секунд;
- кількість рядків блоку скоротилася з 252 до 138;
- розмір УП на стійці ЧПУ став 1,98 КБ в порівнянні при тому, що було спочатку 6,55 КБ.

Підсумовуючи підсумки проведеного виробничого експерименту, можна сказати, що застосування оптимізації дозволило скоротити машинний час при обробці деталі «Кронштейн» на 35% та збільшити стійкість інструменту на 15%.

ВИСНОВОК

У випускній кваліфікаційній магістерській роботі було проведено аналіз літературних джерел, у яких розглядаються технології, устаткування, інструменти створення та оптимізації УП. Розглянуто загальну структуру УП. Було визначено актуальність питання оптимізації, на прикладі розробленої та впровадженої програми для виготовлення деталі «Кронштейн».

Проведено аналіз отриманих результатів та з використанням отриманих даних розроблено такі методи оптимізації керуючих програм: ручний метод; метод з використанням розрахунку напружено деформованого стану деталі у процесі механічної обробки на п'ятикоординатному фрезерному обробному центрі. Також було розглянуто метод оптимізації з використанням програмного забезпечення. Проаналізовано позитивні та негативні сторони кожного методу.

Дані методи були використані для оптимізації УП виготовлення деталі «Кронштейн». Проведено порівняння отриманих результатів з результатами початкової обробки. Розроблені методи були застосовані практично у відділі головного технолога на реальному виробництві.

В результаті процесу оптимізації УП, на прикладі обробки деталі «Кронштейн» дало максимальний ефект і дозволило скоротити час на процес оптимізації та коригування УП для отримання деталі «Кронштейн» без дефектів оброблення. Скорочення часу обробки з 10 хвилин 38 секунд до 6 хвилин 55 секунд за оптимізованою УП для обробки на п'ятикоординатних фрезерних обробних центрах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. FeatureCAM 2016 R2 Reference Help.
2. Overby, Alan. CNC Machining Handbook: Building, Programming, and Implementation /Overby A. – 1 th ed. – McGraw-Hill Education TAB, 2010. – 272 p.
3. R. Wdowik, M. Magdziak, R. M. C.Ratnayake, and C. Borsellino,“Application of Process Parameters in Planning and Technological Documentation: CNC Machine Tools and CMMs Programming Perspective,” Procedia CIRP , vol. 78, pp. 43 – 48. DOI: 10.1016/j.procir.2018.09.054.
4. Z. Mu, G. Zhang, Y. Ran, S. Zhang, and J. Li, “A Reliability Statistical Evaluation Method of CNC Machine Tools Considering the Mission and Load Profile,” IEEE. DOI: 10.1109/access.2019.2935622.
5. Борозенець Г.М., Павлов В.М., Семак І. В. Деталі машин : Навчальний посібник. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. – 220 с.
6. Головня В.Д. САПР технологічних процесів : конспект лекцій / В.Д. Головня. – Житомир : Житомирська політехніка, 2019. – 200 с.
7. Грабченко А. І. Інтегровані генеративні технології: навч. посібник / А. І. Грабченко, Ю. Н. Внуков, В. Л. Доброскок та ін.; під ред. А. І. Грабченко. – Харків: НТУ «ХП», 2011. – 416 с.
8. Дубовой В. М., Моделювання та оптимізація систем: підручник / В.М. Дубовой, Р.Н. Кветний, О.І. Михальов, А.В. Усов. – Вінниця: «ТД «Еднльвейс», 2017. – 804 с.
9. Інноваційні підходи в підготовці магістрів з прикладної механіки : навч. посіб. / Т. Є. Божко, Б. П. Валецький, Л. М. Самчук, Т. І. Четвержук . – Луцьк : Вежа-Друк, 2024. – 324 с.
10. Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. Посібник для практичного програмування верстатів з ЧПК [Електронний ресурс] – Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 115с.

11. Кузнецов Ю.М. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: Навч. посібник. Київ-Кременчук-Севастополь: Вид-во «Точка», 2014. – 500 с.
12. Кузнецов Ю.М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах/ Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин – К.:– Тернопіль: Тернограф, 2011. – 692с.
13. Методичні рекомендації до написання кваліфікаційної роботи за ступенем вищої освіти «магістр» : метод. рекомендації для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Прикладна механіка», спец. 131 Прикладна механіка, галузі знань 13 Механічна інженерія денної та заоч. форм навч. / уклад.: Т. І. Четвержук, Р. М. Полінкевич. – Луцьк: ЛНТУ, 2024. 48 с.
14. Основи трибології. Підручник / А.М. Антипенко, О.М. Белас, В.А. Войтов та інші. За ред. В.А. Войтова. – Харків.: 2008. – 339 с.
15. Петраков Ю.В. Комп'ютерна підтримка підготовки програм фрезерування багатогранників на верстатах з ЧПК / Петраков Ю.В., Клавак А.М. // Актуальні проблеми комп'ютерних технологій: зб. наук. праць, том 1, Хмельницький, 2011, с.179-188.
16. Петров, О. В. Технологічна оснастка : навчальний посібник / О. В.Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 123 с.
17. Приходько, В.П. Проектування оснащення верстатів, роботів і машин: Навч. посіб. / Литвин О.В. . – Київ: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2018. – 212 с.
18. Проць Я.І., Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів./ Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 344с.
19. Репнікова Н. Б. Теорія автоматичного керування: класика і сучасність; підручник / Н. Б. Репнікова. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 328 с.

20. Солод В.Ю. Експлуатація та ремонт технологічного обладнання механічних цехів. Навчальний посібник / В.Ю. Солод, О.В. Чернишов // Кам'янське, ДДТУ, 2018. – 275 с.
21. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування. Монографія / Є.А. Фролов, С.І. Кравченко, С.В. Попов, С.М. Гнітько. Полтава, 2019. – 204 с.
22. Цвіркун Л.І. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер ; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. –3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.
23. Четвержук Т.І. Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів./ Четвержук Т.І., Полінкевич Р.М., Редько Р.Г., Залета О.М., Склярів Р.А. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2021, №71. – С. 322-329.
24. Ющенко К.А., Борисов Ю. С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. Інженерія поверхні. Київ: Наукова думка, 2007. – 553 с.