

ТРАЄКТОРІЇ ПЕРЕМІЩЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ

Створення траєкторій руху інструменту - основне і найбільш трудомістке завдання для технолога, який працює в САМ системі. САМ система містить набір шаблонів траєкторій, які визначають стратегію обробки, параметри і задану керуючу геометрію. На підставі цих даних система будує рухи інструменту і допоміжні команди, зберігаючи їх у деякому внутрішньому форматі для подальшого постпроцесування.

Доступний набір шаблонів визначається типом обробки і можливостями, верстата. Також набір шаблонів може бути обмежений ліцензійними угодами, наприклад, користувач може придбати виключно пакет із шаблонами для токарної обробки, в тому разі, якщо інші види обробки йому не потрібні.

Можна виділити такі групи шаблонів траєкторій, типових для більшості САМ систем (для токарних і фрезерних операцій):

1. Фрезерні

- 2.5D траєкторії.
- Поверхневі траєкторії.
- Багатоосьові траєкторії.
- Високошвидкісна 2D і 3D обробка.
- Допоміжні операції.

2. Токарні

- Типові токарні операції.
- Токарні цикли.
- Операції з приводною віссю С.
- Допоміжні операції.
- Токарно-фрезерні операції.

Таким чином, проект обробки містить одну або кілька впорядкованих операцій, що виконуються послідовно, кожна з яких належить певному шаблону з різною керуючою геометрією або робочим завданням і налаштуваннями.

Кожна операція, залежно від її типу, має певні правила формування траєкторії інструмента і характеризується власним набором параметрів. При цьому заготовкою для кожної наступної операції є результат обробки попередньої операції або вихідна заготовка.

Операції можуть бути умовно розділені на дві групи: чорнові і чистові. Чорнові операції здійснюють вибірку всього матеріалу заготовки, який знаходиться поза оброблюваною моделлю і за межами заборонених зон. У процесі чорнових (попередніх) операцій знімають основну частину припусків на механічну обробку і забезпечують мінімально необхідну і постійну величину припусків на остаточну обробку. Чистові операції виконують тільки обробку поверхні деталі, без вибірки значних обсягів матеріалу. Їх зазвичай використовують для остаточного формування

поверхні деталі після попередньої обробки, а також і без неї у випадках невеликої відмінності деталі від заготовки або в разі використання заготовки з легкооброблюваного матеріалу.

Поділ на чорнові та чистові операції в САМ системах умовний і немає жодних перешкод для використання чорнових стратегій для фактично чистового (за техпроцесом) оброблення.

Загальні параметри траєкторій

Існує низка параметрів, які можна назвати загальними, притаманними всім видам траєкторій. Насамперед це налаштування інструменту, режимів обробки, параметрів підходу до траєкторії і виходу з неї, а також налаштування службових площин (рівнів) і припуску на обробку.

Під час розрахунку траєкторії САМ система формує траєкторії руху інструменту з урахуванням його геометричних, а, в деяких випадках, і фізичних параметрів. Зокрема, під час розрахунку траєкторій з компенсацією радіуса інструменту безпосередньо в комп'ютері (а не в стійці) необхідно знати як мінімум діаметр інструменту, що використовується. Тому кожна система має можливості для зберігання, вибору, корекції параметрів інструментів і створення нових інструментів, зокрема й складної форми (наприклад, фасонні інструменти). Найчастіше ця підсистема називається бібліотекою інструментів.

Під час завдання нового інструменту генерується його твердо тільна модель, яка надалі служить для формування результату обробки в найпростішому випадку шляхом ланцюжка твердотільних мулевих операцій (віднімання) над моделлю вихідної заготовки і моделлю інструменту в кожній точці його шляху. У деяких випадках, особливо це актуально для багатокоординатного оброблення, використовуються моделі оправок для інструменту для здійснення контролю зіткнень їх з елементами верстата, заготівкою або оснащенням.

Крім геометричних, для інструменту можуть задаватися й інші параметри.

1. Стійкість, для зазначення допустимого часу роботи інструменту в хвиликах. У момент, коли час роботи керуючої програми (УП), отриманий з урахуванням виставлених режимів різання, перевищує зазначений, то в УП виводиться відповідна команда на зміну інструменту, коментар або повідомлення оператору.

2. Матеріал інструменту і число зубців, які можуть використовуватися для розрахунку режимів різання.

Фірни-виробники різального інструменту, такі, наприклад, як Sandvik Coromant розміщують на своїх сайтах 3D моделі, а також параметри серійно випущених інструментів, які можна використовувати для імпорту та розрахунку в САМ системах, а іноді й готові до використання бібліотеки інструментів для окремих САМ систем.

На конкретному виробництві зручно створювати бібліотеки, що складаються тільки з інструменту, наявного на підприємстві, в арсеналі оператора, або завантажені в інструментальний магазин верстата.

Бібліотеки інструментів дають змогу здійснювати швидку вибірку інструментів за заданим комплексом параметрів.

Визначення режимів різання поточної операції здійснюється у відповідному вікні параметрів операції. Для операції задаються оберти обертання шпинделя, величина прискореної подачі та величини подач для різних ділянок траєкторії інструмента.

Швидкість обертання шпинделя може задаватися або зазначенням частоти обертання, або зазначенням швидкості різання, одна з яких є визначальною, а друга величина перераховується з урахуванням діаметра інструменту.

САМ системи дають змогу формувати команди на зміну значення подачі залежно від типу ділянки траєкторії інструменту. Прискорена подача використовується в основному під час переміщенні на безпечній площині. Для багатьох верстатів величина прискореної подачі не використовується в керуючій програмі під час використанні команди G00, але ця величина може використовуватися системою для розрахунку машинного часу, а також для формування прискореного переміщення командою G01 з високим значенням подачі.

Робоча подача визначає подачу, на якій виконується основний робочий хід. У деяких системах можливе завдання подачі підходу до траєкторії, відходу від траєкторії, подачі на врізання тощо в тому числі як процентне співвідношення до подачі робочого ходу. Зазвичай у вікні налаштування режимів різання налаштовується і тип використовуваного охолодження, що формує команди його ввімкнення і вимкнення на початку і наприкінці операції відповідно.

Ручне завдання режимів різання є традиційним шляхом, однак, не єдиним і не ідеальним. Сучасні САМ системи дають змогу автоматично обчислювати режими різання, не обтяжуючи цим програміста і технолога, виходячи з налаштувань матеріалу заготовки, параметрів інструменту, параметрів траєкторії і, навіть, коригувати розрахункові параметри й оптимізувати їх на основі можливостей конкретного верстата, на якому буде проводитися обробка (технологія Machine DNA компанії Delcam).

Зокрема, в системі MasterCAM стартовою точкою для визначення швидкостей різання і подач на зуб є матеріал заготовки, потім, після вибору інструменту для операції, вони коригуються з урахуванням кількості зубів фрези. Остаточне коригування відбувається виходячи з налаштувань і типу операції.

Більш просунуті техніки розрахунку режимів різання, використовувані для VCO (high-speed) фрезерування.

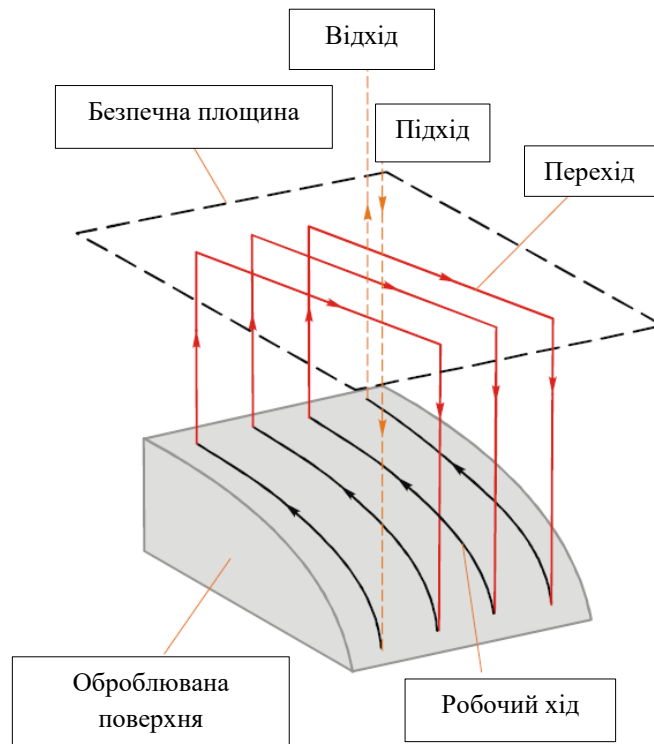
Для кожної операції в системі можна встановити низку спеціальних площин, або рівнів. Нижній і верхній рівень обробки визначають відповідні межі обробки за Z. Елементи робочого завдання, що підлягають обробці, але лежать поза межами нижнього і верхнього рівня, не будуть оброблені.

Під безпечною площиною розуміється горизонтальна площина, розташована на такому рівні, щоб будь-які переміщення інструменту вище цієї площини не призводили до зіткнення інструменту з оброблюваною деталлю або будь-яким технологічним оснащенням. Усі горизонтальні переміщення на прискореній подачі здійснюються в безпечній площині.

Рівень безпечної площини повинен бути вище верхнього рівня обробки. Рекомендується задавати рівень безпечної площини вище, ніж найвища точка оброблюваної деталі, заготовки або технологічного оснащення, з якою можливі зіткнення на прискореній подачі.

У разі 3D обробки може задаватися не рівень безпечної площини, а безпечна відстань, тобто відстань від оброблюваної поверхні до поверхні, на якій дозволені прискорені переміщення.

Налаштування підходу-відходу і врізання регулюють тип входження в траєкторію в площинах перпендикулярних і паралельних осі обертання шпинделя відповідно.



У разі неможливості підійти до оброблюваної ділянки зовні (наприклад, у разі закритої кишені) система автоматично генерує команди врізання для підходу до першої точки робочого ходу.

Процедура врізання складається з таких кроків:

1. Підведення інструмента в точку опускання вище безпечної площини операції.
2. Вертикальне опускання на прискореній подачі до безпечного рівня або до безпечної відстані (залежно від установок).
3. Вертикальний спуск на робочій подачі підходу до початку заданого врізання.
4. Встановлене технологом врізання (осьове, по спіралі, зигзагом).
5. Початок підходу.

Для визначення координат врізання в деяких випадках використовують попередньо створені користувачем точки (точки засвердлювання), а в разі їх відсутності координати врізання визначаються автоматично.

Більшість систем підтримують три типи врізання: осьове, зигзагом і по спіралі.

Осьове врізання здійснюється за вертикальною прямою в першу точку підходу. Осьове врізання без попереднього свердління отвору вкрай негативно позначається на стійкості фрези і його необхідно уникати, застосовуючи більш безпечні методи: врізання зигзагом або по спіралі, що краще.

При врізанні зигзагом інструмент здійснює зворотно-поступальний рух уздовж відрізка прямої, сполученої з першою точкою підходу.

Під час врізання по спіралі інструмент здійснює круговий рух по окружності, сполученій у своїй останній точці з першою точкою підходу.

Ці методи дають змогу змістити навантаження з торця фрези на її бічну поверхню і чим довше переміщення в площині XY щодо врізання по Z, тим більша стійкість інструменту може бути досягнута порівняно з осьовим врізуванням. Отже, рекомендується використовувати мінімальні кути при максимальному діаметрі у спіралі і довжині зигзага. Однак через геометричні обмеження (елементи моделі, оснащення) і спроб системи уникнути зіткнень і зарізів не завжди всі вище описані варіанти врізання можуть бути реалізовані.

Для забезпечення більшої гнучкості управління початком і закінченням процесу різання і підвищення якості обробки в САМ системах можуть бути передбачені спеціальні схеми підходів і відходів. Під підходом (відходом) розуміється послідовність переміщень інструменту до початку (з кінця) робочого ходу. Підходи додаються на початок кожного робочого ходу, відповідно відходи додаються в кінець кожного робочого ходу. У разі використання в програмі корекції на радіус інструмента траєкторії підходу-відходу можуть використовуватися для її увімкнення-вимкнення. Таким чином, підхід-відхід може складатися з трьох ділянок – ділянки увімкнення корекції, безпосередньо ділянки самого підходу, а також ж ділянки, що являє собою подовження оброблюваного контуру. Оперуючи цими трьома способами можна отримати найбільш оптимальну траєкторію в кожному конкретному випадку.

Увімкнення і вимкнення корекції можливо здійснити тільки на лінійних переміщеннях інструменту, які можуть здійснюватися по дотичній і по нормалі до наступної ділянки траєкторії, або з довільно заданої точки. Безпосередньо за ділянкою увімкнення корекції може перебувати ділянка підходу, або ділянка подовження контуру, або сам контур залежно від конкретних умов і рішень, прийнятих технологом. Ділянці увімкнення корекції відповідає кадр лінійного переміщення в УП, в якому крім інформації про переміщення є функції управління корекцією G41 або G42 і номер коректора, як правило D або H, відповідно до вимог конкретного УЧПУ.

На ділянці безпосередньо підходу, як правило, відбувається зіткнення інструменту з матеріалом заготовки. На сьогодні використовуються такі способи врізання інструменту в матеріал: тангенціально, по нормалі, по дузі, під довільно заданим кутом.

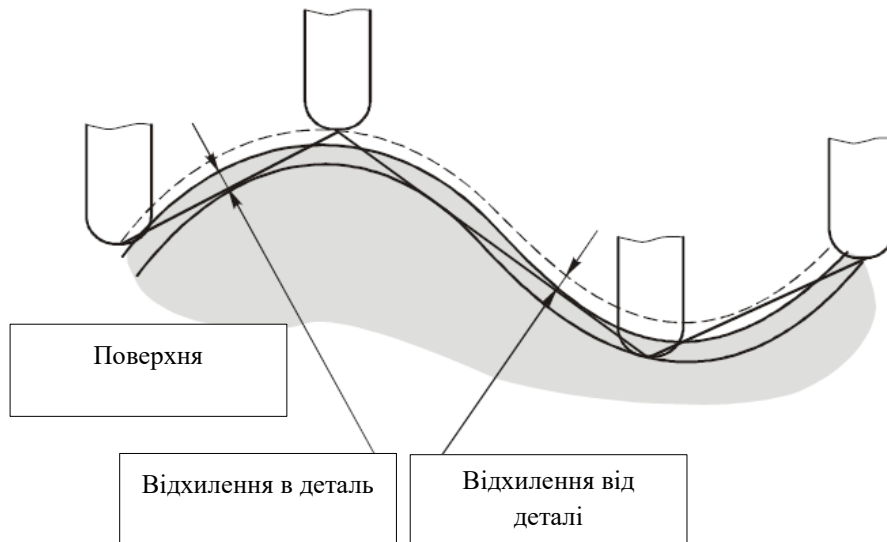
Якщо підходу передувала ділянка увімкнення корекції, тоді підхід відпрацьовується верстатом з урахуванням величини корекції. Відповідно якщо ділянка включення корекції не була включена, переміщення інструменту буде здійснюватися безпосередньо за кривою підходу центром фрези.

Ділянка подовження контуру (недохід і перебіг) як правило, використовується під час обробки вздовж замкнутих контурів, коли початкова і кінцева точки контуру збігаються. Зазвичай у цьому випадку залишається слід від фрези через нерівномірний обсяг матеріалу, що знімається в момент врізання, а також ефекту віджимання. Цю ділянку траєкторії можна формувати двома способами - по дотичній до початкової та кінцевої точок або вздовж кривої. Під час цього необхідно мати на увазі, що в деяких випадках дотична може бути спрямована всередину деталі, і вжити необхідних заходів для запобігання зарізу деталі.

Під час високоточної обробки важливо пам'ятати, що будь-яка САМ система переважно працює не з точними, а з апроксимованими дугами кіл і відрізками прямих траєкторій руху інструменту. Точністю обробки в САМ системі називається максимальне відхилення апроксимованої траєкторії інструменту від ідеальної, математично точної.

Сумарна точність обробки формується складанням двох величин допустимого відхилення: у деталь і від деталі.

Відхилення від деталі визначає максимально допустиме відхилення інструмента від поверхні оброблюваної деталі (у бік інструменту), тоді як відхилення в деталь, визначає максимально допустиме врізання інструменту всередину оброблюваної деталі (від інструменту).



Слід враховувати, що підвищення точності (зменшення суми відхилень) веде до підвищення тривалості розрахунків і збільшення розміру керуючої програми, за рахунок розбиття криволінійних траєкторій на більшу кількість ділянок. При цьому сумарна точність обов'язково має бути більшою за нуль, оскільки інакше неможливо побудова апроксимованої траєкторії, а, отже, і програми для верстата з ЧПУ.

У більшості випадків зручніше задавати відхилення в деталь рівним нулю, а від деталі - рівним необхідній точності обробки. При таких параметрах мінімальна товщина шару залишкового матеріалу дорівнюватиме встановленому припуску. Якщо ж відхилення в деталь не дорівнює нулю, то мінімальна товщина шару залишкового матеріалу буде меншою за заданий припуск на величину відхилення в деталь.

Сучасні системи ЧПУ в останніх версіях підтримують обробку вздовж NURBS кривих, задаючи їх в аналітичному вигляді, що дає змогу обробляти їх із найвищою точністю, однак ця опція має бути підтримана з боку САМ системи.

2.5D траєкторії

Під 2.5D траєкторіями розуміють такі переміщення, під час яких в одному кадрі керуючої програми проводиться переміщення не більше ніж по двох осях.

Можна виділити такі типи 2.5D стратегій обробки:

1. Прохід по контуру
2. Торцювання
3. Обробка кишені
4. Гравірування
5. Отвори

Керуючою геометрією для цього типу стратегій є розімкнуті й замкнуті криві та послідовності кривих (інакше, ланцюжки) на площині. Найпростішою операцією з цієї групи є оброблення по контуру. При цьому настроювальна точка інструменту здійснює рух уздовж заданої кривої (в деяких випадках і вздовж 3D кривої). Для кривої встановлюється спосіб її обробки: проходження віссю інструменту вздовж контуру або в торканні вихідного контуру бічною поверхнею фрези зліва чи справа, а також можливе створення множинних траєкторій, еквідистантних заданій, а також обробка серіями горизонтальних ходів інструменту. Серії ходів відрізняються одна від одної лише рівнем горизонтальних площин, у яких вони знаходяться.

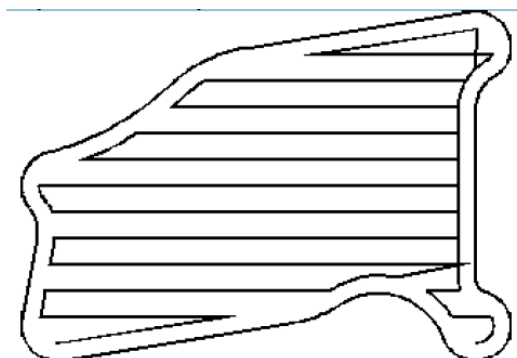
Одним із варіантів застосування операції проходу по контуру є обробка фасок на гранях. При цьому зазвичай задається точка контакту інструменту із заготовкою, або параметри фаски, а точка контакту розраховується системою автоматично.

Окремим випадком операції обробки по контуру є гравіювальна операція. Операція призначена для гравіювання різних малюнків і надписів на плоских і циліндричних поверхнях і зазвичай надає додаткові можливості. В операція гравіювання люба крива може визначати гребень, канавку, крім того, замкнуті криві можуть бути додані в якості виступу або впадини, що дозволяє задавати малюнки, що виконуються гравіюванням, швидше, ніж при використанні інших операцій.

Операція торцювання призначена для швидкого очищення верхньої поверхні заготовки і підготовки її для майбутніх операцій. В якості керуючої геометрії вказується або безпосередньо заготовка, або замкнутий ланцюжок кривих. Під час обробки торця важливо забезпечити заступ інструменту за край заготовки не менше ніж на 50% від діаметра фрези для того, щоб унеможливити появу гребінців на краях заготовки. САМ системи дають змогу виконати торцювання або зигзагоподібними рухами фрези, або односпрямованими для запобігання утворенню відколів і задирок на краях торця.

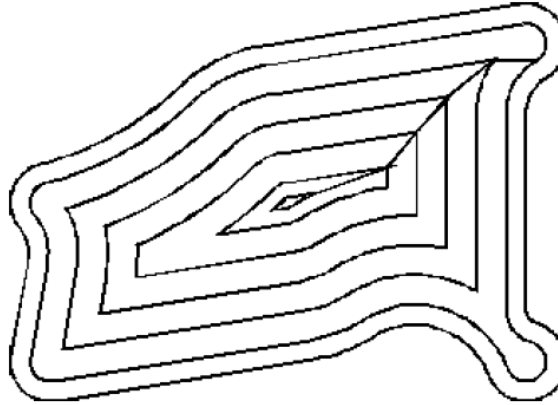
Операція обробка кишені використовується для обробки кишень та ізольованих областей, а також для попередньої вибірки матеріалу. Робоче завдання формується з набору плоских кривих, що визначають межі кишені, а також межі островів (об'єктів, розташованих усередині кишені, які не підлягають обробці цією операцією). В операції проводиться вибірка всього матеріалу заготовки, що знаходиться всередині контуру і поза забороненими зонами (островів). Матеріал видаляється шар за шаром, із заданим кроком між шарами. Існує велика кількість стратегій для вибірки матеріалу в межах шару, однак вони є різними варіаціями двох основних стратегій:

1. Зигзаг - вибірка проводиться лінійними переміщеннями, поєднуючи попутне і зустрічне фрезерування. Цей спосіб призначений для чорнової вибірки матеріалу. Під час використанні цієї стратегії рекомендується задавати кут обробки таким чином, щоб довгі лінійні переміщення проходили вздовж найбільшої зі сторін кишені.



Використання такої стратегії зазвичай поєднують із чистовим проходом уздовж стінок кишені для очищення їх від гребінців.

2. Спіраль - вибірка проводиться спіральними ходами, які починаються від краю заготовки, або від центру, кожен з яких є еквідистантою зовнішньої форми кишені.



У параметрах обробки задається перекриття між ходами, зазвичай у частках від діаметра використовуваного інструменту.

Перехід до наступного шару обробки може здійснюватися або одним із способів врізання (осьове, по спіралі, зигзагом), або через точки попереднього засвердлювання, які можна задати в параметрах операції.

Як було сказано вище, відстань між шарами задається користувачем, однак за наявності островів усередині кишені доцільніше розміщувати шари на висоті островів, що дасть змогу скоротити кількість проходів і зробити їхню товщину рівномірнішою. Це досягається ручним завданням висот шарів, або автоматичним визначенням за наявності відповідної опції.

Вкрай корисною функцією є дообробка кишень. Під час її використанні система визначає ділянки, які не вдається обробити фрезою великого діаметру, наприклад у результаті попередньої чорнової операції, і дає змогу згенерувати траєкторії для дообробки фрезою меншого діаметра тільки в цих, необроблених місцях. Подібна опція доступна і для багатьох інших операцій обробки і заснована на тому ж самому принципі.

Деякими особливостями володіє обробка відкритих кишень. У цьому разі вхід і вихід у траєкторію шару здійснюється з повітря з відкритого краю. По-перше, це дає змогу розв'язати проблему з врізуванням, а по-друге, під час такої обробки не утворюється задирок і гребінців з відкритого боку кишені.

Під час створення траєкторій обробки для кількох кишень існує два варіанти планування послідовності обробки: за кишенею, у цьому разі перехід до обробки наступної кишені здійснюється після остаточної, на повну глибину, обробки попередньої, і за висотою, у цьому разі перехід до наступної кишені здійснюється після завершення шару.

Перший варіант швидший, оскільки мінімізує кількість швидких переміщень, другий варіант використовується в тих випадках, коли необхідно усунути температурні деформації, що виникають у заготівці.

Під час обробки отворів як керівну геометрію задаються точки центру отворів, або кола, що позначають ці отвори. У другому випадку можливий автоматичний пошук і виділення пов'язаних отворів для обробки їх у рамках одного робочого завдання. При цьому до отворів застосовуються різні методи вибору послідовності обробки: за найкоротшим шляхом, по горизонталі, вертикалі, в послідовності вибору тощо.

Для отвору можуть застосовуватися як стандартні цикли свердління, так і створюватися нові, користувацькі цикли.

Стандартні цикли містять у собі:

1. Стандартний цикл свердління. Рекомендується для створення отворів глибиною менше трьох діаметрів свердла.

2. Цикл свердління глибоких отворів. Характеризується періодичним повним виведенням свердла з отвору. Застосовується при глибині отвору понад три діаметри свердла і в умовах виникнення труднощів із відведенням стружки.

3. Цикл свердління з ламанням стружки. Характеризується періодичним частковим виведенням свердла з отвору. Застосовується при глибині отвору більше трьох діаметрів свердла.

4. Свердління з нарізуванням різьблення. Цей цикл використовується в тому числі й для нарізування зовнішньої різьби.

5. Цикл розточування.

Також система передбачає створення користувацьких циклів свердління. Оскільки задані в конкретній стійці ЧПУ цикли свердління можуть не підтримуватися постпроцесором САМ системи, програми з їх використанням можуть виявитися непридатними.

Для зняття цього обмеження САМ системи передбачають можливість виведення циклів свердління у вигляді послідовності стандартних кодів. Це збільшує розмір і знижує «читабельність» програми, однак у низці випадків такий підхід видається єдиною можливістю.

3D траєкторії

Під 3D обробленням заведено розуміти оброблення за такою програмою, в якій в одному кадрі може здійснюватися переміщення за трьома осями одночасно. Відповідно, траєкторії для такої обробки і будемо називати 3D траєкторіями. Керуючою геометрією для такого роду траєкторій служать поверхні і просторові криві. Однак, це правило в загальному випадку, може не дотримуватися, оскільки площина також є поверхнями і можливе завдання плоскої кішені не її обмежувальним ланцюжком, а поверхнями. Такий підхід можливий, але використовувати його не рекомендується, оскільки якість траєкторій і керуючої програми, її розмір і «читабельність» буде, в більшості випадків, нижчою, ніж під час використання 2.5D стратегій.

Чорнові траєкторії

Чорнова пошарова

Чорнова пошарова операція застосовується для первинної чорнової обробки деталей складної форми, які мають значні геометричні відмінності від заготовки. Вона дає змогу грубо зняти надлишки матеріалу для подальшої обробки.

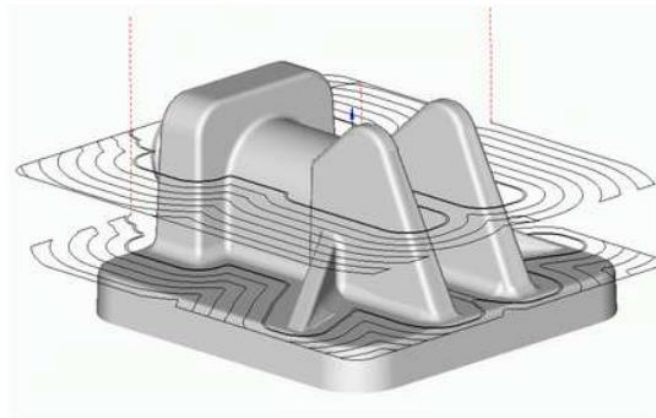
В операції проводиться вибірка всього матеріалу заготовки, що знаходиться зовні від оброблюваної моделі і поза обмежувальної моделі. Матеріал видаляється горизонтальними ходами інструменту шар за шаром (як впливає з назви). Крок (або товщина шару, що знімається) може бути постійним або розраховуватися виходячи із заданої висоти залишеного гребінця.

Стратегії обробки в межах шару збігаються зі стратегіями обробки плоских кишень: профільна обробка, спіральна і растрова.

Перехід до наступного шару обробки може здійснюватися або одним зі способів врізання (осьове, по спіралі, зигзагом), або через точки засвердлювання.

Неважко помітити, що чорнова пошарова операція дуже схожа на обробку відкритої кишені з островами. Виняток лише один - межі островів формуються на кожному Z шарі шляхом побудови перерізу. Далі застосовуються всі ті самі правила, що й для траєкторій обробки 2.5D кишень. У результаті чорнової обробки за цією стратегією особливо великі необроблені обсяги матеріалу утворюються на похилих стінках, тоді як горизонтальні поверхні обробляються до зазначених користувачем припусків.

Зменшити необроблені ділянки можна тільки за рахунок скорочення відстань між Z рівнями, що вкрай неекономічно з точки зору часу обробки, тому після пошарової вибірки доводиться застосовувати напівчистову дообробку іншими стратегіями.

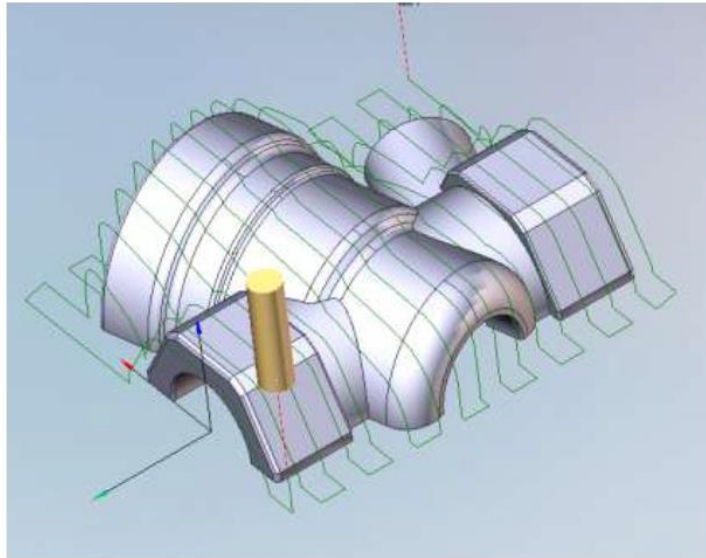


Чорнова рядкова стратегія.

Отримана в результаті обробки чорною рядковою операцією деталь зазвичай менше відрізняється від вихідної моделі, ніж після пошарового оброблення за схожих параметрів. Така операція застосовується для отримання деталей із незначними відмінностями від заданої моделі одразу після чорнової обробки, а також при фрезеруванні легкооброблюваного матеріалу, оскільки часто під час використання такої стратегії працює допоміжна ріжуча кромка інструменту.

В операції проводиться вибірка всього матеріалу заготовки, що знаходиться зовні від оброблюваної моделі і поза обмежувальною моделлю. Робочі ходи операції лежать у сімействі паралельних вертикальних площин. Положення площин задається кутом між цими площинами і віссю X. Крок між площинами сусідніх робочих ходів може бути постійним або розраховуватися

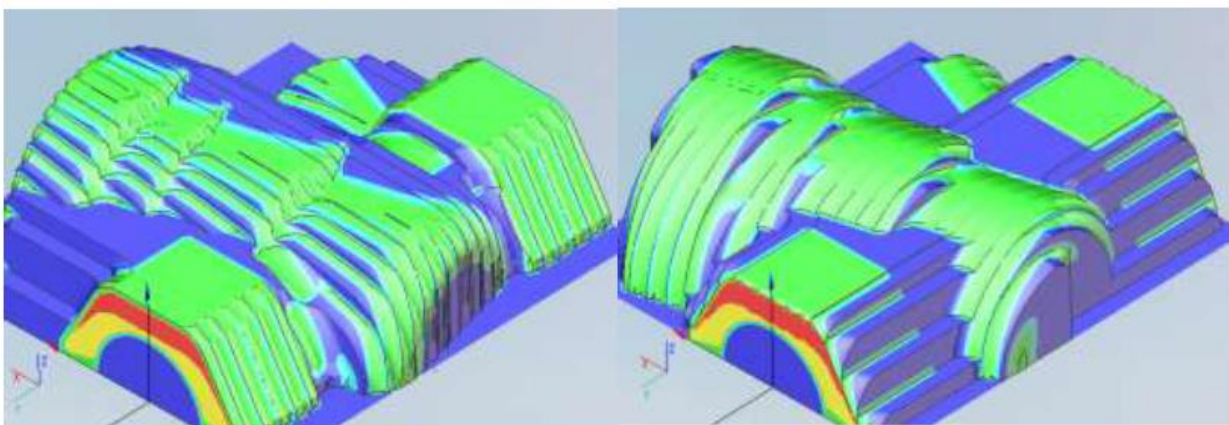
виходячи із заданої висоти гребінця. Для обмеження навантаження на інструмент, товщина шару матеріалу, що знімається за один раз, може бути обмежена. При цьому якщо товщина матеріалу заготовки, що видаляється, перевищує задану, то матеріал буде видалений за кілька проходів, однак, у разі великої кількості проходів краще використовувати іншу стратегію.



Якщо, під час обробки, інструмент не повинен врізатися в матеріал під довільним кутом, то переміщення інструменту вниз може бути обмежене певним кутом, що тягне за собою недоопрацювання тіньових зон.

Перехід між робочими ходами може здійснюватися за найкоротшою відстанню, з додаванням відходу і підходу або через безпечну площину. Якщо вибірка матеріалу відбувається з розбиттям на шари, то спочатку видаляється весь матеріал із верхнього шару і лише потім відбувається перехід на наступний шар і т. д.

Під час чорнової построкової стратегії на вертикальних стінках деталі, близьких до паралельності ходам інструменту, виникає великий обсяг необробленого матеріалу, тоді як на стінках розташованих перпендикулярно ходам така проблема не виникає. В силу цього при використанні стратегії важливо правильно вказати кут між площинами обробки і віссю X, або доповнювати обробку ще однією операцією з ходами, перпендикулярними вихідній, якщо потрібно знизити розмір гребінців до мінімального. На рисунку показано відмінність в обробці під час ходів, розташованих паралельно до осі X (a) і Y (b). Зеленим кольором показано малі відхилення від моделі, синім - великі.

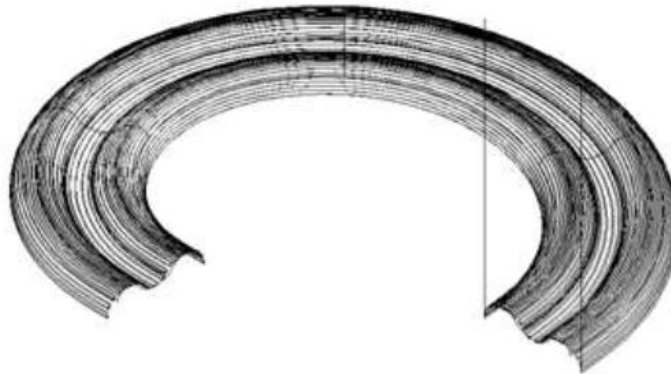


Керована або потокова (flowline) стратегія.

У низці випадків деталь після обробки має зовсім незначні відмінності від заданої моделі, але через нерівномірність обсягу матеріалу, що знімається, не завжди вдається досягти оптимального часу обробки.

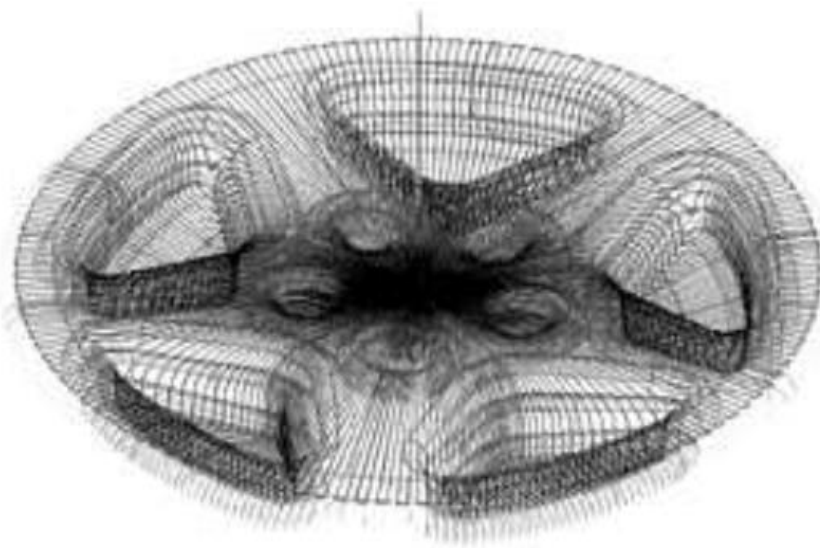
У разі потокової стратегії система за вказаними площинами виділяє керуючі криві і на їхній основі формує рядки обробки. Іншими словами, обробка відбувається аналогічно до рядкової операції, але рядки розташовані не вздовж осі, а вздовж деякої кривої. Також можливо розташувати рядки перпендикулярно кривим. В іншому операція подібна до рядкової операції.

Чорнову керовану операцію рекомендується використовувати лише за специфічної форми оброблюваної деталі. У разі якщо можна явно виділити напрямні лінії, стінки деталі розташовуються за певним законом і заготовка незначно відрізняється від кінцевої деталі, використання стратегії може бути виправданим. У деяких випадках має сенс використовувати стратегію на окремих елементах, що задовольняють цим рекомендаціям.



Радіальна стратегія.

Радіальна стратегія є окремим випадком керованої стратегії, у якій напрямною лінією є коло, а ходи інструменту розташовані перпендикулярно до нього і виходять із центру.



Використання стратегії має доцільне під час обробки деталей, що мають круглу форму.

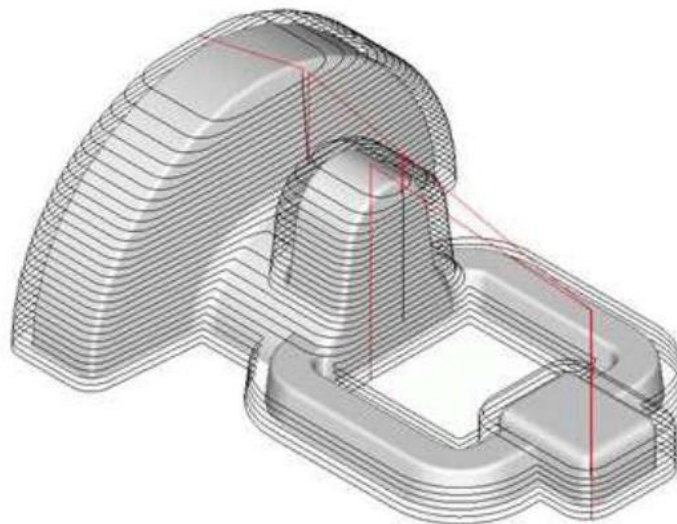
З радіальним обробленням пов'язана така проблема: траєкторії інструменту, що розходяться з однієї точки інструменту, утворюють різні за перекриттям плями контакту, а, отже, на краях можливе утворення недорізів, тоді як ближче до центру перекриття збільшується і одна й та сама ділянка обробляється кілька разів. Для часткового вирішення цієї проблеми можливе завдання необроблюваної даним методом області поблизу центру кола, яку потім обробляють іншими стратегіями.

Чистові траєкторії

Як було зазначено, чистові траєкторії використовуються для фінального доопрацювання заготовки, з якої вже знято основний припуск.

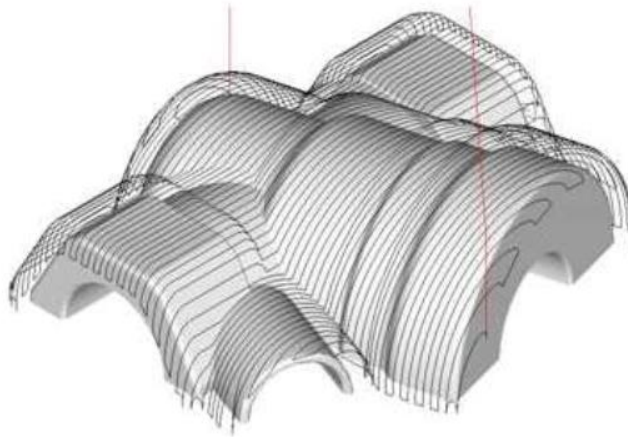
Багато чистових поверхневих траєкторій подібні до чорнових аналогів, проте в них відсутні ходи інструменту для зняття великих обсягів матеріалу (більше за діаметр фрези).

Чистова пошарова операція (тобто така операція, де ходи інструменту паралельні площині ХУ, див. рис.) дає хороший результат при обробці деталей або їхніх частин із переважанням ділянок поверхні близьких до вертикальних. Для подальшої обробки пологих ділянок можна використовувати рядкову або керовану чистову операцію.



Під час створення пари операцій для досягнення оптимального результату їхні параметри заповнюються таким чином. У рядковій операції мінімальний і максимальний кути нахилу нормалі до осі Z встановлюються рівними, відповідно, 0° і 45° ; а для пошарової операції відповідні кути дорівнюють 45° і 90° . Тобто якщо на ділянці поверхні деталі кут між віссю Z і нормаллю менший за 45° , то вона обробляється рядковою операцією, інакше - пошаровою.

Чистову рядкову (площини ходів перпендикулярні площині ХУ, див. площині ХУ, див. рис.) операцію доцільно застосовувати для обробки пологих ділянок поверхні деталі, а також ділянок близьких до вертикальних за невеликого відхилення нормалі поверхні від площини робочого ходу. Для подальшого доопрацювання ділянок з великим нахилом можна використовувати пошарову операцію або іншу рядкову операцію, у якій площини рядків перпендикулярні площинам рядків першої операції.



Під час створення пари рядкових операцій для досягнення оптимального результату їхні параметри заповнюються таким чином. Кут між площинами робочих ходів другої операції і віссю X встановлюється на 90° більшим, ніж у першої. Фронтальний кут в обох операціях задається рівним 45° , щоб будь-яка похила ділянка оброблялася тільки однією операцією. Мінімальний кут нахилу нормалі до осі Z для першої операції встановлюється рівним 0° , а для другої - рівним 1° (тобто горизонтальні ділянки обробляються тільки першою операцією). Максимальний кут нахилу нормалі для обох операцій задається 90° , що відповідає значенню без обмеження обробки.

Оскільки результат застосування рядкової та пошарової операції сильно залежить від кута нахилу оброблюваних поверхонь до площини, перпендикулярної осі інструменту, у налаштуваннях цих операцій дають змогу встановлювати діапазон кутів нахилу поверхонь, для яких буде проводитися обробка даною операцією.

Чистова керована операція (див. рис.) успішно застосовується при обробці окремих зон деталі зі складними витягнутими криволінійними поверхнями. Доцільно використовувати її для доопрацювання ділянок поверхні деталі специфічної форми, для обробки низки деталей із плавною зміною геометрії поверхні, а також для зміни геометрії поверхні, а так само для фрезерування написів і малюнків на поверхні деталі. У разі використання чистової керованої операції для обробки пологих ділянок поверхні деталі рекомендується використовувати як напрямні кривих їхнє зовнішнє огинання і стратегію уздовж кривих. А під час обробки крутих ділянок - стратегію поперек кривих з такими ж напрямними.

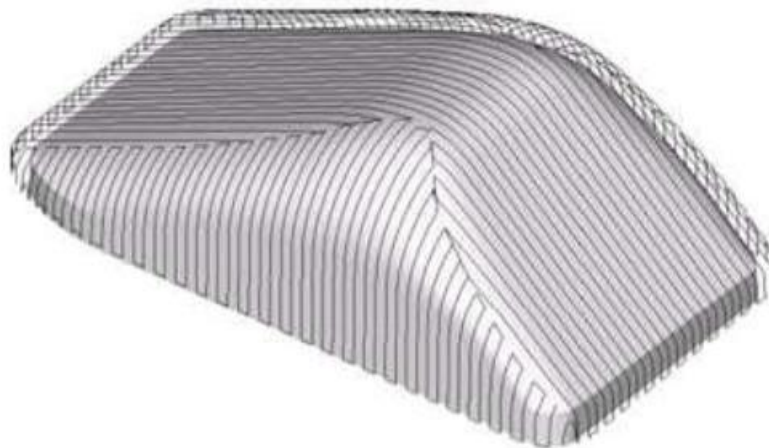


Оскільки найкращий результат при використанні чистових операцій досягається комбінацією декількох стратегій обробки застосовуваних до різних поверхонь моделі, виходячи з кута їхнього

нахилу до горизонталі, створюються додаткові гібридні стратегії, що автоматично реалізують поділ поверхонь на групи за кутом нахилу і застосування до цих груп відповідних операцій. Реалізація функцій різниться від системи до системи: може створюватися як одна операція із загальними параметрами, і параметрами властивими кожній з операцій, так і група з двох операцій. Параметри пари таких згрупованих операцій є взаємопов'язаними, тобто при зміні параметра однієї операції одночасно таке саме значення встановлюється і в схожий параметр у парній операції, якщо такий параметр у неї існує. Таке правило позбавляє від необхідності налаштовувати обидві операції окремо.

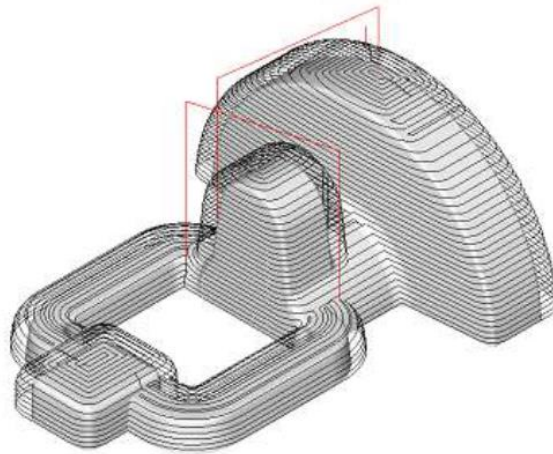
У зв'язку з особливістю порядкової операції та необхідністю її доповнення набір стратегій доповнюється так званими адаптивними або оптимізованими порядковими операціями.

Чистова рядкова оптимізована операція, по суті, складається з двох чистових рядкових операцій, робочі ходи яких лежать у взаємно перпендикулярних площинах (див. малюнок). Параметри цих операцій заповнюються таким чином, щоб кожна операція обробляла лише ті ділянки поверхні деталі, на яких при такій обробці результат буде оптимальний. Завдяки цьому досягається рівномірна якість обробки на всій поверхні деталі. Використання рядково-оптимізованої операції дає змогу проводити якісну обробку моделей зі складною формою поверхні, а також мінімізувати час обробки.



Чистовою комбінованою (пошарово керованою) операцією однаково добре обробляються як пологі, так і круті ділянки. Досить рівномірна висота гребінця виходить навіть у разі використання постійного кроку. Комбінована обробка забезпечує легші умови роботи інструмента, що своєю чергою дає змогу застосовувати подовжений інструмент меншого діаметра. Операція дає змогу проводити якісну чистову обробку незалежно від складності рельєфу поверхні моделі а також мінімізувати час обробки.

Траєкторія для обробки поверхні деталі формується в два етапи. Спочатку будуються горизонтальні ходи інструмента (як у пошаровій операції), а потім для недопрацьованих ділянок за правилами керованої операції добудовується траєкторія вздовж напрямних кривих (напрямними кривими в цьому випадку служать межі недопрацьованих зон). Таким чином, близькі до вертикальних ділянки поверхні деталі обробляються як у пошаровій операції, а пологі - як у керованій (див. малюнок). Що й дає змогу отримати рівномірну обробку для деталей, практично, будь-якої форми.



Чистова комплексна (пошарово-порядкова) операція складається з двох чистових операцій: порядкової і пошарової. Параметри операцій вибирають так, щоб пологі ділянки оброблялися порядковою операцією, а ділянки близькі до вертикальних - пошаровою (див. малюнок). У результаті досягається рівномірність якості обробки всієї поверхні деталі. При комплексній обробці забезпечуються легші умови роботи інструменту, що, в свою чергу, дає змогу застосовувати подовжений інструмент меншого діаметра. Операція дає змогу проводити якісну обробку за будь-якого рельєфу поверхні моделі, а так само також мінімізувати час обробки.

