

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
ОК 8 CAD/CAM/CAE ВІД КОНЦЕПЦІЇ ДО ВИРОБУ

(шифр за відповідною освітньою програмою та назва навчальної дисципліни)

освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
(назва освітньої програми (спеціалізації))

спеціальність G9 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

галузь знань G Інженерія, виробництво та будівництво
(код і найменування галузі)

ступінь вищої освіти Магістерський
(назва ступеня вищої освіти)

Конспект лекцій ОК 8 CAD/CAM/CAE ВІД КОНЦЕПЦІЇ ДО ВИРОБУ для студентів спеціальності G9 Прикладна механіка, освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування / Укл.: старш. викл. каф. Технології машинобудування Вишнепольський Євген Валерійович – Запоріжжя: НУЗП, 2025 року - 102 с.

Укладачі: доц. каф. Технології машинобудування Вишнепольський Євген Валерійович,

Рецензент: доц. каф. Технології машинобудування Гончар Н.В.

Відповідальний
за випуск: зав. каф. Технології машинобудування Дядя С.І.

Конспект лекцій погоджено:

Завідувач кафедри
на якій виконується освітній компонент

_____Сергій ДЯДЯ
(і'мя прізвище)
05.05. 2025

Гарант освітньої програми

_____Павло ТРІШИН
(і'мя прізвище)
05.05 2025

Схвалено науково-методичною комісією машинобудівного факультету
(найменування факультету)

Протокол від «26» 08. 2025 року № 1

Голова науково-методичної комісії

Василь ГЛУШКО
(і'мя прізвище)
26.08. 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Тема 1 Розробка токарно-фрезерної операції в NXCAM	5
Тема 2 Створення операції технічного контролю в NXCAM	14
Тема 3 Симуляція роботи верстата	18
Тема 4 Перенос заготовки та 5-осьова позиційна обробка	26
Тема 5 Розробка технологічної операції 5-осьової безперервної обробки в NXCAM	46
Тема 6 Розробка технологічної операції 5-осьової безперервної обробки в NXCAM (продовження)	67
Тема 7 Операції обробки моноколів	93

ВСТУП

Сучасне машинобудування переживає епоху цифрової трансформації, де інтеграція систем автоматизованого проектування (CAD), комп'ютерного виробництва (CAM) та інженерного аналізу (CAE) стала основою конкурентоспроможності підприємств. Дисципліна «CAD/CAM/CAE від концепції до виробу» покликана забезпечити майбутніх фахівців з прикладної механіки комплексними знаннями та практичними навичками роботи з найсучаснішими системами автоматизованої підготовки виробництва.

Даний конспект лекцій розроблено відповідно до навчальної програми магістерського рівня освіти для спеціальності «Прикладна механіка» за освітньою програмою «Технології машинобудування». Матеріал структуровано у три змістові модулі, що послідовно розкривають теоретичні основи та практичні аспекти використання системи NX CAM для розробки технологічних операцій різної складності – від базових токарно-фрезерних операцій до складних багатоосевих технологічних процесів обробки спеціалізованих виробів.

Особливістю курсу є його спрямованість на практичну реалізацію повного циклу «від концепції до виробу», що відображає сучасні тенденції цифрового виробництва та вимоги Industry 4.0. Студенти отримують не лише теоретичні знання про принципи функціонування CAD/CAM/CAE систем, але й практичні навички програмування верстатів з ЧПУ, симуляції технологічних процесів, контролю якості та оптимізації виробничих операцій.

Курс базується на попередньому вивченні студентами основ машинобудівного креслення, матеріалознавства, теоретичної механіки та математичного моделювання. Водночас він створює фундамент для подальшої професійної діяльності у сфері автоматизованого проектування та виробництва, забезпечуючи готовність випускників до роботи на підприємствах з активним використанням цифрових технологій.

Конспект містить детальне викладення теоретичного матеріалу лекцій, доповнене практичними прикладами та ілюстраціями, що сприяє кращому засвоєнню складних технічних концепцій. Особлива увага приділена питанням інтеграції CAD/CAM/CAE систем у загальну структуру сучасного виробництва, економічним аспектам впровадження цифрових технологій та перспективам розвитку автоматизованих систем підготовки виробництва.

Матеріал конспекту орієнтований на формування у студентів системного розуміння процесів цифрового проектування та виробництва, розвиток аналітичного мислення та здатності до інноваційних рішень у галузі сучасного машинобудування. Засвоєння представленого матеріалу дозволить майбутнім фахівцям ефективно використовувати переваги інтегрованих CAD/CAM/CAE систем для підвищення якості продукції, скорочення термінів розробки та оптимізації виробничих витрат.

Тема 1 Розробка операцій токарний-фрезерної обробки в NXCAM

Ряд токарних верстатів має можливість використати приводний інструмент, розташований в револьверній голівці, для осьового або радіального фрезерування і свердління, тому їх називають токарно-фрезерними. Складніші токарно-фрезерні верстати (рис. 1.1), окрім головного токарного шпинделя(1), можуть мати другий токарний шпиндель - контршпиндель(2), в них забезпечується можливість перехоплення деталі для обробки її з протилежного боку. Окрім основної револьверної голівки(3), верстати можуть мати другу револьверну голівку, що дає можливість паралельної роботи двома інструментами. Деякі верстати замість револьверної голівки (чи додатково) мають фрезерний шпиндель(4) з можливістю його повороту. У такий шпиндель може встановлюватися як токарний, так і фрезерний інструмент, і з'являється можливість поєднувати токарну і безперервну 5-осьову обробку на одному верстаті.

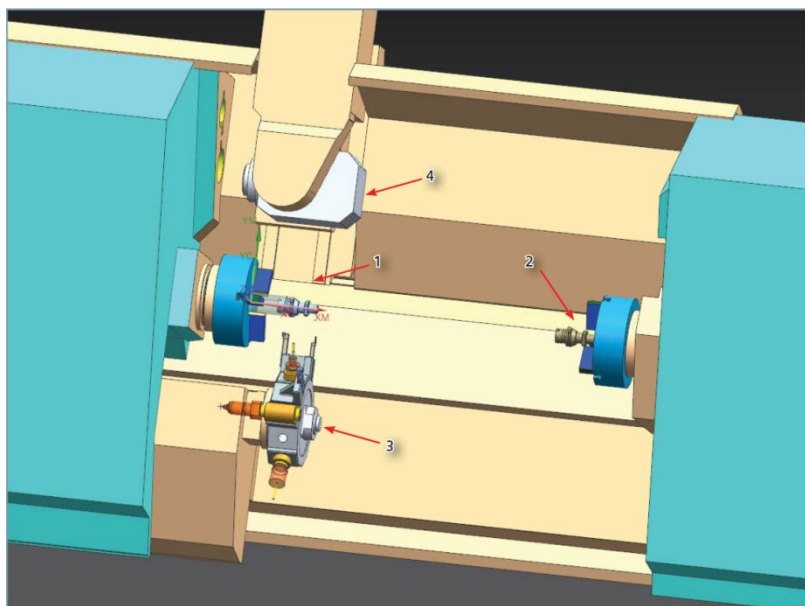


Рисунок 1.1 - Вузли токарно-фрезерного багатофункціонального верстата

Ініціалізація для токарно-фрезерної обробки

Для цього виду обробки важлива правильна організація геометричних і інших САМ- об'єктів в Навігаторі операцій. Відкрийте файл NX9_Millturn_Part.prt. Виконайте Файл - Новий. Виберіть вкладку Обробка, Шаблон - Токарно-фрезерна (Express) і натисніть ОКИ.

У відповідність з принципом мастер-моделі буде створена батьківське складання з ім'ям за умовчанням NX9_Millturn_Part_setup_1.prt, що містить оброблювану деталь як компонент, уся інформація по обробці записуватиметься у файл складання.

Також буде створено декілька об'єктів обробки, усі вони нам знайомі по розділах токарної або фрезерної обробки. Навігатор операцій показує знову створені об'єкти (рис. 1.2). На верхньому рівні розташована геометрична група MASTER_BLANK, тут потрібно буде задати початкову заготовку. Системи координат верстата MSC_MAIN_SPINDLE і MSC_SUB_SPINDLE задають нульову точку і інші налаштування для головного шпинделя і контршпинделя відповідно.

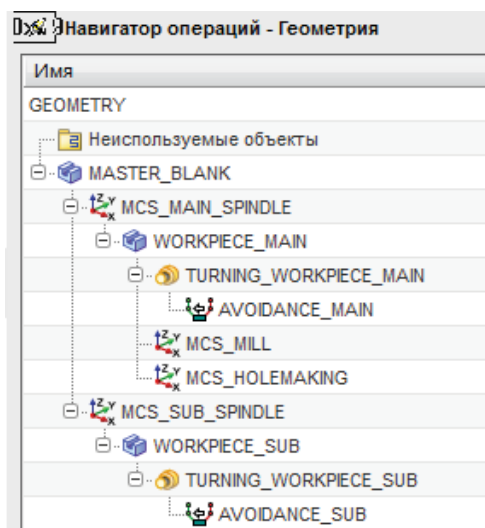


Рисунок 1.2 - Ієрархія геометричних об'єктів при ініціалізації токарно-фрезерної обробки

Геометрична група WORKPIECE_MAIN наслідуює заготівлю з MASTER_BLANK (тобто в ній заготівля не задається), в ній ми задамо деталь, встановлену в головний шпиндель. У геометричній групі WORKPIECE_SUB буде задана деталь, встановлена в контршпиндель (складання для обробки буде соделжать 2 однакові компоненти деталі). У ній заготівля також не задається. Геометрична група TURNING_WORKPIECE_MAIN автоматично розраховуватиме токарний переріз деталі і заготівлі, геометрична група TURNING_WORKPIECE_SUB також автоматично розраховуватиме токарний переріз деталі. Для розрахунку токарної заготівлі використовуватиметься спеціальний механізм передачі ЗвПО з головного шпинделя, який раніше не розглядався. При програмування фрезерних операцій для головного шпинделя використовуватиметься система координат MCS_MILL, яка може співпадати позиційно з MSC_MAIN_SPINDLE, але може містити додаткову інформацію для постпроцесора для коректного виведення фрезерних операцій. Аналогічна група при необхідності може бути додана для контршпинделя. Групи AVOIDANCE (Маневрування) задають налаштування маневрування окремо для кожного шпинделя. MCS_HOLEMAKING не є обов'язковою, залишимо її без пояснення.

В порівнянні з чисто токарною обробкою, тут створюється більше методів за умовчанням (рис. 1.3). Наприклад, методи DRILL_XYZC і DRILL_POLAR містять додаткову інформацію по виведенню координат, один з них дозволить використання осі Y при програмуванні свердління, а інший - ні.

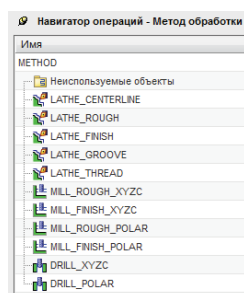


Рисунок 1.3 - Методи - обробки, створені за умовчанням

Аналогічний підхід використовується і для фрезерування. Ця інформація застосовується постпроцесором на стадії постпроцессирования. Окрім цього, створюється магазин інструментів на 12 позицій, що характерно для револьверних голівок. Нагадаємо, що ініціалізація виконує деякий налагоджений шаблон, цей шаблон призначений для верстата без фрезерного шпинделя. Для верстата з фрезерним шпинделем необхідно буде його додати.

Завдання систем координат і геометрії

Прив'яжемо систему координат головного шпинделя до правого торця деталі. Встановіть MSC_MAIN_SPINDLE, як показано на рис. 1.4, в цю ж точку перенесіть робочу систему координат (відповідність осей повинна витримуватися, як прийнято в токарній обробці).

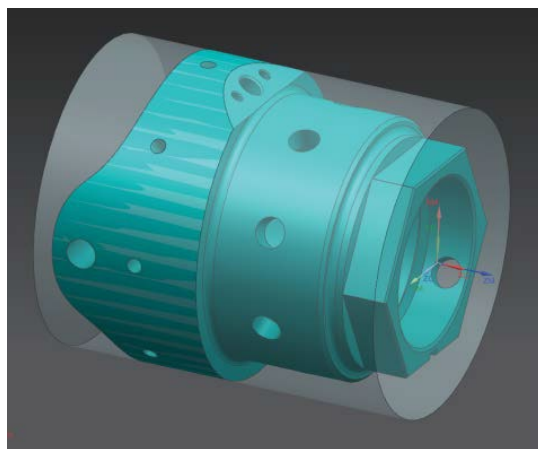


Рисунок 1.4 - Розташування - СКС і РСК відносно деталі

Створіть циліндр діаметром 127 мм, завдовжки 150 мм, розташований в точці $X=-148$. Створіть новий компонент складання і перенесіть туди знову створений циліндр. Це буде заготівля. Виконайте команду Додати компонент в модулі складання і додайте ще раз NX9_Millturn_Part, спосіб позиціонування задайте Переміщення, задайте зміщення 1250 мм.

Повинно бути як на рис. 1.5, в лівій частині малюнка показаний навігатор складання, що містить два компоненти NX9_Millturn_Part (деталь) і компонент NX9_turnmill_blank1 (заготівля).

Задайте заготівлю в геометричній групі MASTER_BLANK, задайте деталь, встановлену в головному шпинделі в геометричній групі WORKPIECE_MAIN, а деталь в контршпинделі - в геометричній групі WORKPIECE_SUB. Систему координат MSC_SUB_SPINDLE прив'яжемо до лівого торця деталі, встановленої в контршпинделі. Оскільки лівий торець деталі не має характерної точки для прив'язки, задамо СК зміщенням від поточної позиції на 1180 міліметрів по осі ХС (вважаючи, що тут буде торець заготівлі після передачі її з головного шпинделя).

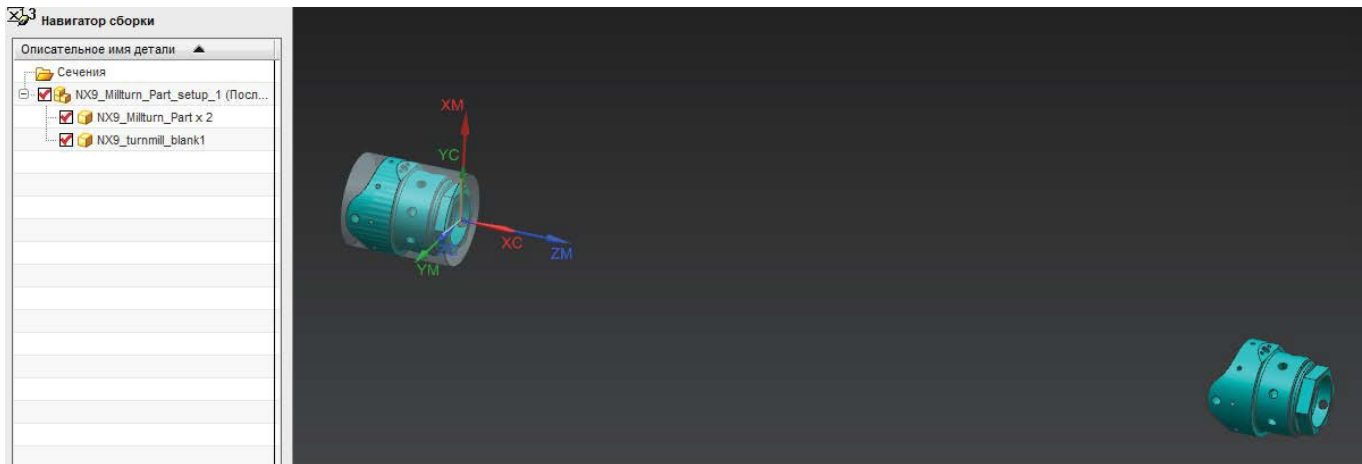


Рисунок 1.5 - Другий компонент -деталь - доданий і позиціонується в контршпиндель

Після цього вимкніть відображення компонентів в навігаторові складання і виберіть геометричну групу TURNING_WORKPIECE_MAIN. Будуть відображені токарні контури деталі і заготівлі.

Виконується токарні операції результат показаний на рис. 1.6.

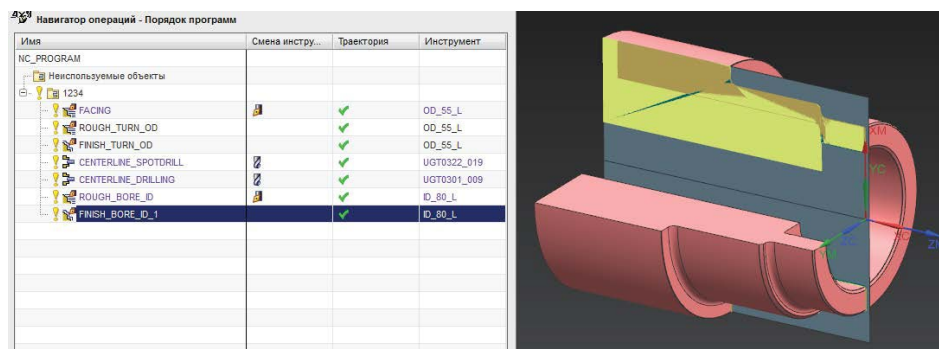


Рисунок 1.6 - Поточний стан заготівлі після токарних операцій

Токарні контури на цьому етапі краще приховати (для наочності). Це можна зробити, приховавши автоматично створені об'єкти в Навігаторові моделі. Які це об'єкти, можна з'ясувати, вибравши їх по черзі. Для прикладу на рис. 1.7 вибраний зафарбований контур деталі. Попутно можна переконатися, що токарний контур деталі отриманий не простим перерізом, він відбиває саме токарну заготівлю перед фрезерними операціями.

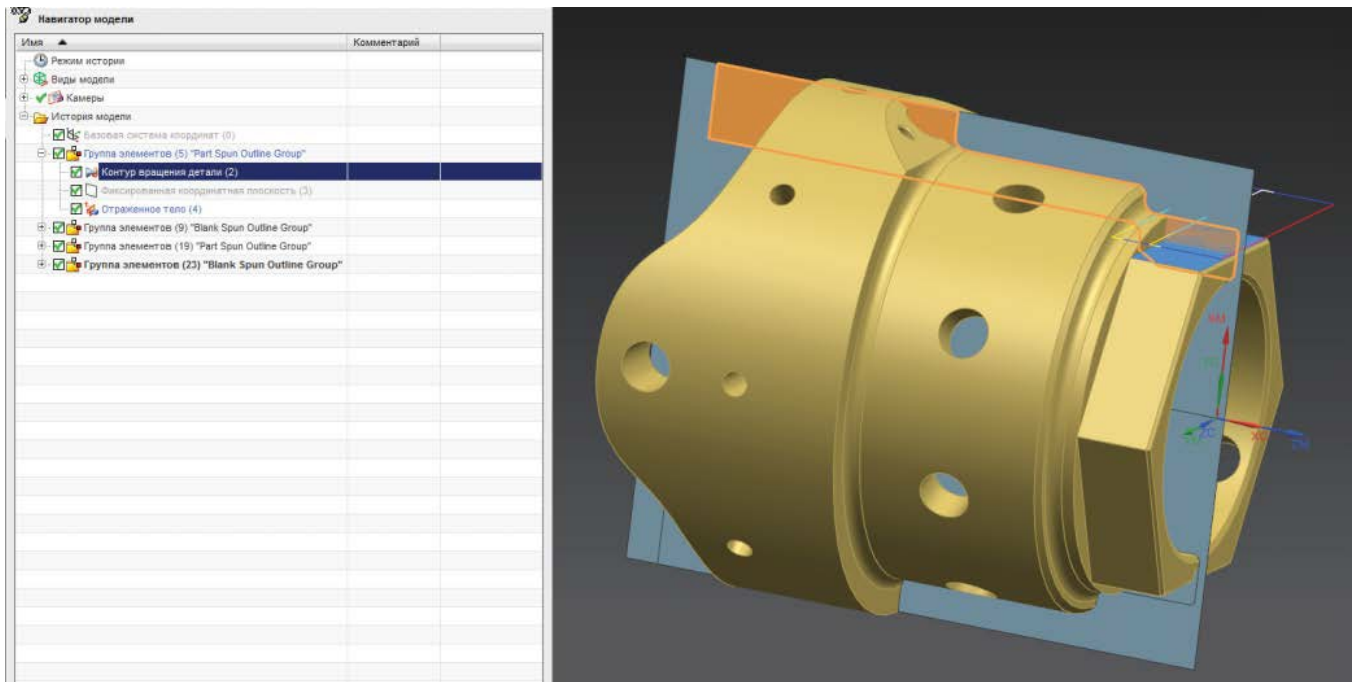


Рисунок 1.7 - Токарні контури можна приховати в Навігаторові моделі

Для обробки шестигранника можна використати різні операції. Ми використовуватимемо операцію `SOLID_PROFILE_3D`, обробку грані бічною стороною фрези, що забезпечує. При необхідності може використовуватися її багатопрхідний варіант.

Фрезерний інструмент з орієнтацією по осі Z може бути встановлений в револьверну голівку в позицію з підтримкою приводного інструменту або фрезерний шпиндель (за наявності). Зв'язування операції і конкретного робочого органу верстата розглянемо далі.

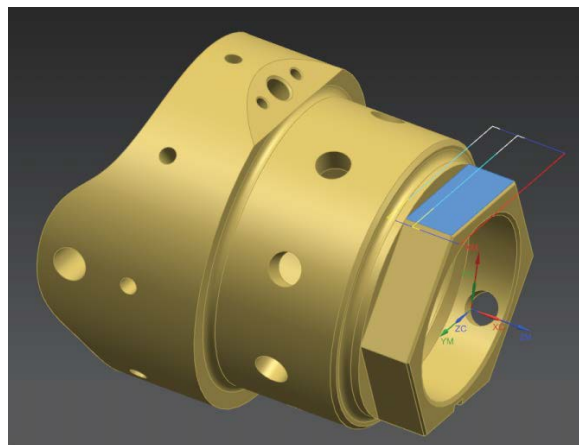


Рисунок 1.8 - Операція фрезерування грані шестигранника

Токарно-фрезерні верстати при фрезеруванні або можуть використати тільки осі XZC, або можуть додатково використати вісь Y (за наявності). Який варіант застосовується в конкретній операції, задається вибором відповідного методу(3). Методи, створені при токарно-фрезерній ініціалізації, містять додаткове налаштування (подія користувача), що вказує постпроцесору, які

координати використати.

Задайте метод MILL_FINISH_XYZC і генеруйте операцію. Для обробки інших граней шестигранника створимо масив операцій. Операції-копії при цьому зберігають асоціативний зв'язок з початковою операцією. Можна настроїти постпроцесор таким чином, що він виводитиме масив операцій у вигляді підпрограм, це скоротило б довжину УП і поліпшило її читаність.

З контекстного меню операції SOLID_PROFILE_3D виконаєте Об'єкт - Перетворення.

З'явиться нове діалогове вікно (рис. 1.9).

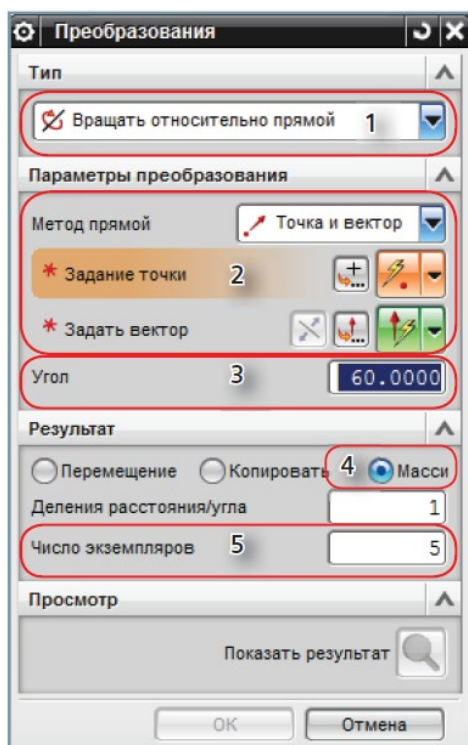


Рисунок 1.9 - Діалогове вікно команди перетворення і параметри створення масиву операцій

Задайте тип перетворення - Обертати відносно прямої(1), точку задайте будь-кого, що лежить на осі Z, вектор - вісь Z(2), кут - 60 градусів(3), число екземплярів - 5(4), встановите ознаку масиву(5). Кут можна обчислювати, використовуючи параметр Ділення відстані/кута(кут = 60 і Ділення відстані/кута = 1 дають той же результат, як 360 і 6 відповідно).

Операції, отримані перетворенням (а не розрахунком), мають спеціальний значок статусу (6, рис. 1.10).

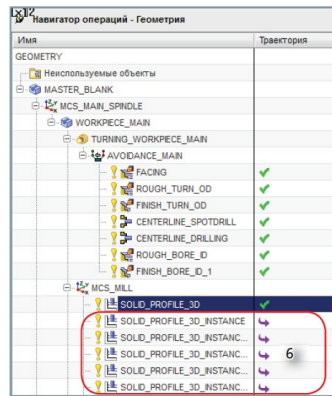


Рисунок 1.10 - Операції, отримані перетворенням, мають спеціальний значок статусу

Для передачі токарної заготовлі з головного шпинделя в контршпиндель використовується спеціальний спосіб завдання заготовлі в геометричній групі TURNING_WORKPIECE_SUB, який називається 3 робочого простору. Відкрийте діалогове вікно геометричної групи TURNING_WORKPIECE_SUB (рис. 1.11).

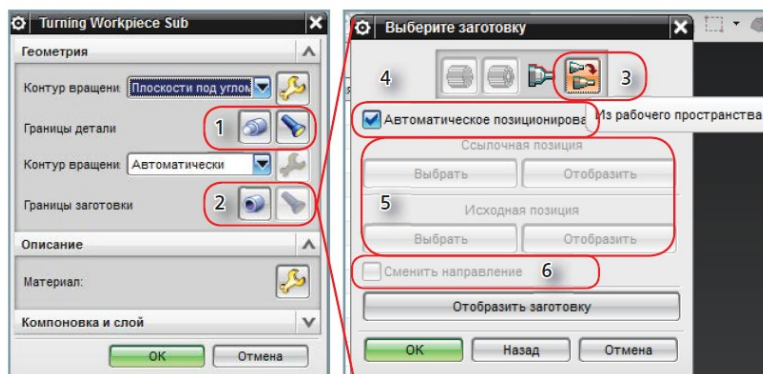


Рисунок 1.11 - Заготівлі в контршпинделі задана значенням 3 робочого простору, що забезпечує її перенесення з головного шпинделя

Межа деталі(1) розраховується автоматично на основі 3D-деталі, встановленої в контршпиндель. Межа заготівлі(2) не задана, оскільки ми не задавали 3D-заготовку для контршпинделя. Виконайте команду завдання межі заготівлі(2), з'явиться нове діалогове вікно. У ній вкажіть спосіб створення заготівлі - 3 робочого простору(3) і включите прапор Автоматичне позиціонування(4). Система при цьому автоматично розраховує перенесення заготівлі, керуючись старим і новим положеннями компонента.

Якщо автоматичне позиціонування не працює, то можлива явна вказівка однакових точок на межах деталі для першого і другого положень(5). Параметр Змінити напрям(6) використовується у разі перевертання заготівлі на 180° при передачі її в нове положення. У нашому випадку це не потрібно.

Для зміни орієнтації інструменту в операції є два параметри (рис. 1.12), вже відомий нам Переорієнтовувати утримувач інструменту, задаючи кут в плані, і Повернути інструмент відносно утримувача, який зазвичай використовується при роботі в контршпинделі.

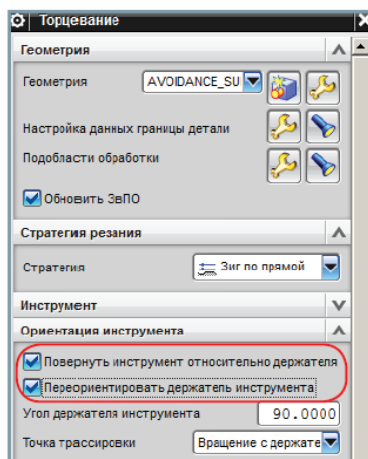


Рисунок 1.12 - Параметры переориентации инструмента в диалоговом окне операции

Верстаты с фрезерным шпинделем мають можливість програмного повороту інструменту відносно утримувача. Для таких верстатів копію інструменту можна було не створювати, а опцію Повернути інструмент відносно утримувача використати тільки в тих операціях, де вимагається.

Робота в контексті 3D моделей верстата і симуляція обробки

За наявності модуля симуляції обробки і налагодженої 3D-моделі верстата робота з токарно-фрезерними верстатами будується інакше, ніж з фрезерними. Для фрезерних верстатів можна виконати програмування обробки без верстата, а потім завантажити верстат для перевірки УП. Для токарно-фрезерних верстатів модель верстата завантажується з шаблону із самого початку, і програмування йде в контексті верстата і встановленого оснащення. Це пов'язано з тим, що у фрезерних верстатах інструмент завжди ставиться в одне місце(у шпиндель) в певній орієнтації (по осі шпинделя). У токарно-фрезерних верстатах, особливо при використанні револьверної голівки, інструмент ставиться в різні позиції, в різній орієнтації, з різним вильотом і т. п. І це краще врахувати відразу при програмуванні.

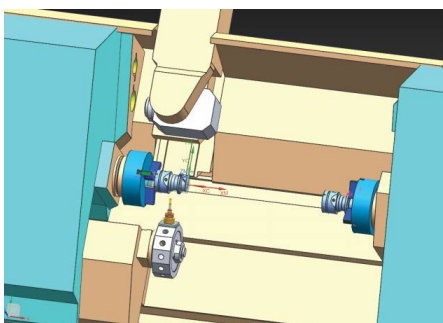


Рисунок 1.13 - Верстат зі встановленою деталлю-шаблоном, який використовуватиметься для обробки

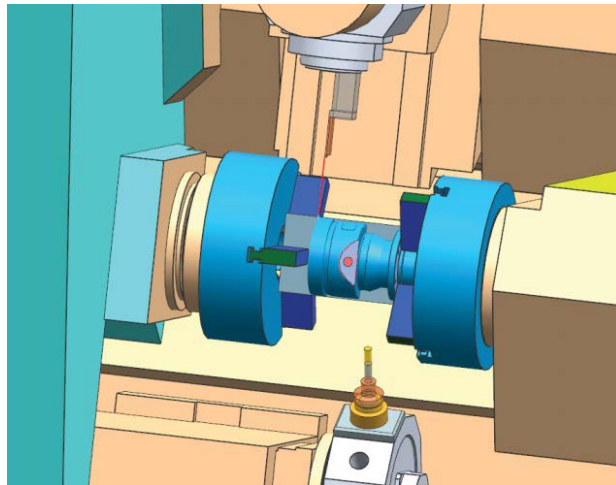


Рисунок 1.14 - Перехоплення деталі і передача заготовлі в контршпиндель тут поєднані з операцією відрізки

Тема 2 Створення операції технічного контролю в NXCAM

Вимірювальні операції(PROBING)

Операція дозволяє додати в УП команди управління вимірювальним щупом. Вимірювальні операції підтримуються при симуляції рухів щупа з контролем зіткнень.

Операція може служити основою для реалізації різних схем адаптивної обробки. Головне достоїнство в тому, що за результатами виміру можна автоматично скоректувати процес обробки, не знімаючи деталі з верстата.

Приклади вирішуваних завдань : присутність деталі на верстаті; ідентифікація деталі; установка нульової точки, виходячи з фактичного положення деталі; установка нульової точки для перерозподілу припуску на заготовки; вимір деталі, зміна величини корекції інструменту і повторна обробка; контроль інструменту.

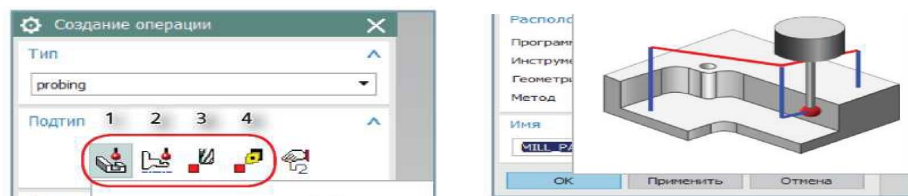


Рисунок 2.1 - Розташування операцій вимірювання PROBING

У NX вимірювальні операції зібрані як підтипи: операція виміру фрезерної деталі - MILL_PART_PROBING; операція виміру токарної деталі - TURN_PART_PROBING; операція виміру фрезерного інструменту - MILL_TOOL_PROBING; операція виміру токарного інструменту - TURN_TOOL_PROBING. Тут же є присутнім GENERIC_MOTION як споріднена операція. Операція PROBING побудована на основі операції GENERIC_MOTION і тому має аналогічний інтерфейс. Як приклад розглянемо операцію MILL_PART_PROBING інші виконуються аналогічно. **Вимір точки**
Відкриємо приклад probe_mill_setup1.prt. У прикладі є дві вимірювальні операції. Відкрийте діалогове вікно операції PROBE_BLANK (рис. 2.2).

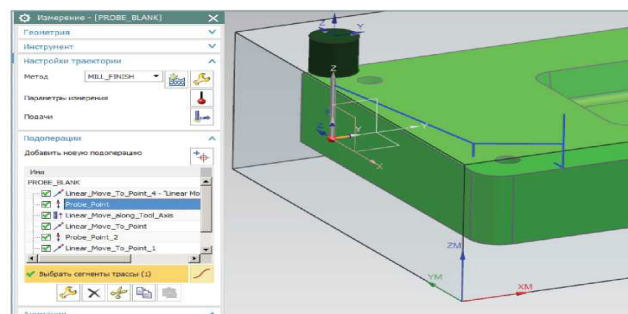


Рисунок 2.2 - Приклад операції вимірювання для програмної прив'язки у кут заготовки (включаючи діалогове вікно операції)

Операція складається з підоперацій. Якщо вибрати підоперацію, то інструмент (в даному випадку вимірювальна голівка) позиціонується в позицію, задану підоперацією. На малюнку вибрана

підоперація Probe_point. Це операція виміру точки, одним з параметрів її є напрям виміру (підсвічується). Якщо проаналізувати усі підоперації, то можна з'ясувати, що тут виконуються виміри 3 точок (по одній точці для X-, Y - і Z- напрямку). Між підопераціями виміру точок вставлені підоперації переміщення в нову позицію. Завданням цієї операції в цілому служить визначення положення кута заготовки, по координатах якого можна скоректувати нульову точку програми перед початком обробки.

Виконайте верифікацію операції для наочності.

Формат вимірювальних циклів сильно відрізняється для різних верстатів і систем ЧПУ. Уніфікація тут мінімальна. У стандартному постачанні NX є 2 постпроцесори, для систем ЧПУ Sinumerik і Fanuc, в яких встановлено програмне забезпечення Renishaw Inspection Plus. Цей формат вибраний тому, що це програмне забезпечення уніфікує набір параметрів для виміру і для роботи з виміряними даними. Розбиратися з параметрами операції простіше, якщо ми бачимо формат УП для виміру. Документація на Renishaw Inspection Plus частіше використовує формат системи Fanuc, тому використовуватимемо його, і ми в книзі.

У списку за умовчанням постпроцесори для виведення вимірювальних операцій не підключені. Додайте постпроцесор probing_cycles_fanuc.pui в список.

Виконайте постпроцесування операції, використовуючи одиниці виведення - міліметри. Текст УП показаний на рис. 2.3. В даному випадку кожна підоперація виводиться окремим кадром, але це необов'язково і визначається постпроцесором.

У нашому прикладі всього 2 типи підоперацій: **Лінійне переміщення в точку** (Linear_move_to_point) і **Вимір точки** (Probe_point). Але залежно від типу руху в підоперації **Лінійне переміщення в точку** в УП виводиться або звичайний рух (кадр 10 на рис. 2.3), або так зване захищене (код G65 P9810 в кадрі 20 на рис. 2.3). При виконанні захищеного руху система ЧПУ зупинить рух при будь-якому зіткненні щупа з перешкодою. Тип **Прискорене** дає просте переміщення, тип **Обхід** - захищене. Зазвичай рухи щупа поблизу деталі прийнято виконувати захищеними. Операція виміру точки виводиться як цикл P9811 (кадр 30 на рис. 2.3). У цьому ж кадрі вказуються напрям виміру і кінцева координата. У циклі можливі додаткові параметри, в даному випадку команда S02 привласнює вимірне значення координаті X нульової точки 2 (тобто G55).

```
N0010 X-10. Y127. Z121.6
N0020 G65 P9810 X-10. Y126.489 Z73.7948 F400. M00
N0030 P9811 X0.0 S02
N0040 G65 P9810 X-10. Y126.489 Z113.7948 F400. M00
N0050 G65 P9810 X10. Y10. Z111.6 F400. M00
N0060 P9811 Z101.6 S02
N0070 G65 P9810 X50.8 Y-10. Z111.6 F400. M00
N0080 G65 P9810 X50.8 Y-10. Z93.98 F400. M00
N0090 P9811 Y0.0 S02
N0100 G65 P9810 X50.8 Y-10. Z133.98 F400. M00
```

Рисунок 2.3 - Текст КП з виводом вимірювальних циклів вимірювання точки

Відкрийте діалогове вікно підоперації Probe_point (рис. 2.4).

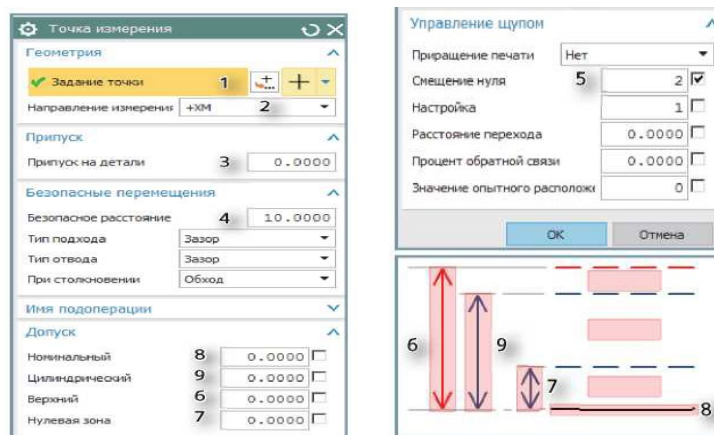


Рисунок 2.4 - Діалогове вікно підоперації вимірювання точки (Probe_point)

Розберемо детальніше параметри підоперації. При завданні точки (1) напрям виміру (2) визначається автоматично. Припуск на деталі (3) додається до вимірюваної грані. Безпечна відстань (4) визначає відстань, звідки починається рух виміру, воно може виводитися як параметр циклу. Номер нульової точки (5) заданий параметром **Зміщення нуля**. Якщо його потрібно, то він має бути активований (галочка поряд з параметром). Значення допусків визначають реакцію на результат виміру. Перевищення найбільшого допуску – **Верхній (6)** - викликає зупинку операції виміру з повідомленням про помилку. Результат нижче нульової зони (7) забороняє оновлення даних реєстра зміщення. Є ще номінальний (8) і циліндричний (9) допуски і проміжні стани, детальний розбір їх в завдання книги не входить, дивитися документацію на вимірювальні цикли.

Можливі підоперації в операції виміру показані на рис. 2.5. Є три операції калібрування (1). Зазвичай вони використовуються до операцій виміру для визначення погрішностей установки датчика в шпіндель, погрішностей установки щупа в датчик і т. д., служать для забезпечення необхідної точності і виконуються одного разу, наприклад після зміни інструменту. У нашому прикладі є одна операція калібрування по сфері, яка забезпечує виведення циклу P9804.

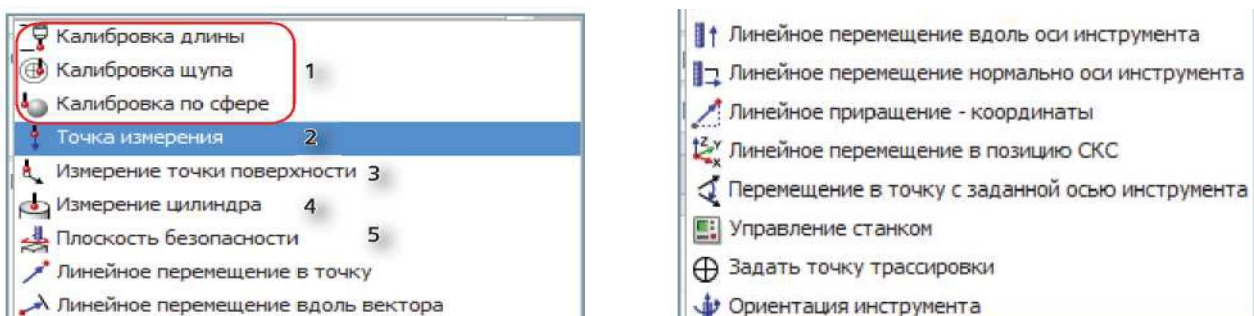


Рисунок 2.5 - Можливі підоперації в операції вимірювання

Операція **Виміру точки (2)** призначена для вимірів уздовж координатних осей. Більшість контактних датчиків призначена саме для таких вимірів. Проте є спеціальні датчики, наприклад MP700, які можуть виконувати виміри у будь-якому напрямі. В цьому випадку можна використати операцію **Вимір точки поверхні (3)**, вимір проводитиметься по нормалі у вказаній точці. Операцію

Виміру циліндра (4) розберемо пізніше. Операція **Площина безпеки (5)** дозволяє встановлювати нове значення площини безпеки для подальших операцій виміру, який діятиме до наступної підоперації цього типу. Інші підоперації нам знайомі з розділу, присвяченого операції **GENERIC_MOTION**.

Використання результатів виміру Використання циклу P9811 з параметром S для коригування нульової точки був розглянутий раніше. Можливе використання параметра T в цьому циклі для корекції інструменту із заданим номером. Наприклад, вимір з використанням кадру P9811 Z40 T10 може виконуватися після фрезерування площини, розташованої на рівні Z40(номінальний розмір), за результатами виміру буде оновлений коректор на довжину інструменту з номером 10. Після цього можна повторити обробку для отримання точнішого фактичного розміру. Цикли виміру використовують параметри системи ЧПУ для збереження вимірних даних. Так, цикл P9811 зберігає вимірне значення по X в параметрі #135 (може відрізнятися на конкретному верстаті). Також вважаємо, з документації відомо, що робоче зміщення G54 по X — це параметр #2501. Якщо ми хочемо встановити нульову точку 1(G54) по X посередині між вимірними гранями(приклад операції виміру показаний на рис. 2.6, точки виміру показані стрілками), ми не можемо використати параметри циклу, оскільки немає такого готового параметра. Але програма, показана на рис. 2.7, робить це. Параметри #611 і #612 — призначені для користувача, потрібно бути упевненим, що вони системою ЧПУ не використовуються.

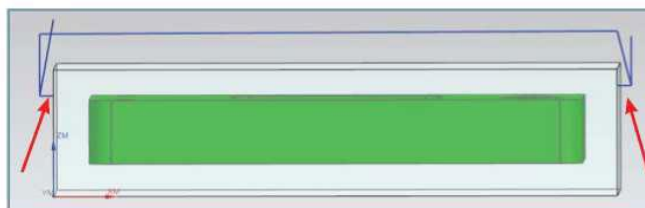


Рисунок 2.6 - Приклад операції вимірювання для установки СК у площину симетрії деталі

```
N0010 X0.0 Y20. Z141.6
N0020 G65 P9810 X-10. Y21.6447 Z79.9808 F400. M00
N0030 P9811 X0.0
#611=#135
N0040 G65 P9810 X-10. Y21.6447 Z129.9808 F400. M00
N0050 G65 P9810 X406.4 Y20. Z131.6 F400. M00
N0060 G65 P9810 X416.4 Y21.3168 Z87.547 F400. M00
N0070 P9811 X406.4
#612=#135
N0080 G65 P9810 X416.4 Y21.3168 Z127.547 F400. M00
#2501=[#612-#611]/2
```

Рисунок 2.7 - Текст КП з використанням вимірних циклів та верстатних параметрів

Рядки, дописані червоним, стандартним постпроцесором не виводяться. Вони і не можуть виводитися, оскільки вирішують специфічну задачу. Для автоматичного виведення таких кадрів потрібно формалізувати логіку обробки из-меренных даних, сформувані специфічні шаблони операцій, дописати події користувача, які передаватимуть цю логіку постпроцесору. Цей приклад показує, що операції виміру є кубиками при реалізації конкретних завдань, наприклад завдань адаптивної обробки.

Тема 3 Симуляція роботи верстата

Симуляція роботи верстата

Симуляція руху вузлів верстата в NX інтегрована з постпроцесором і здійснюється в кодах верстата (G- кодах), що дозволяє уникнути процесу відладки програм на верстаті і звільнити верстат для продуктивної роботи.

Підключення моделі верстата Дуже часто програмування фрезерних операцій ведеться без прив'язки до конкретного верстата. Це дозволяє легко переносити програми, що управляють, з одного верстата на інший. Для перевірки програм необхідно підключити кінематичну модель верстата.

Розглянемо симуляцію роботи верстата на базі прикладу fl1_setup_1.prt. Відкрийте fl1_setup_1.prt. Відобразимо робочу систему координат (PСК), в нашому випадку вона співпадає із СКС. Вона використовуватиметься для установки деталі на стіл верстата. Перемкнемося на вигляд **інструментів Навігатора операцій** і, вибравши об'єкт GENERIC_MACHINE, визвемо з контекстного меню команду **Змінити**. У новому діалоговому вікні (рис. 3.1) виконаєте команду **Викликати верстат з бібліотеки (1)**, в діалоговому вікні **Вибір класу бібліотеки** виберіть **MILL** (Фрезерні верстати) і знову **ОК**.

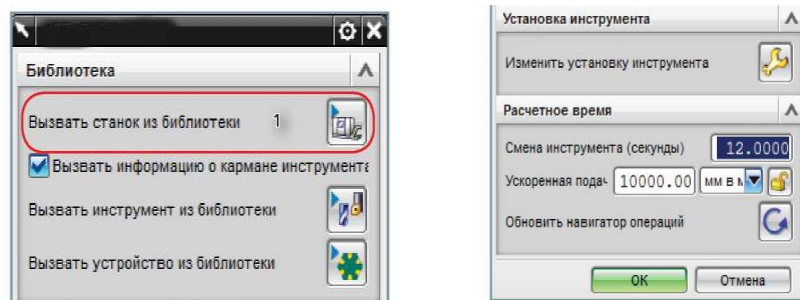


Рисунок 3.1 - Розташування команди «Викликати верстат» з бібліотеки

У діалоговому вікні **Результати пошуку** необхідно виберемо верстат, як показано на рис. 3.2.

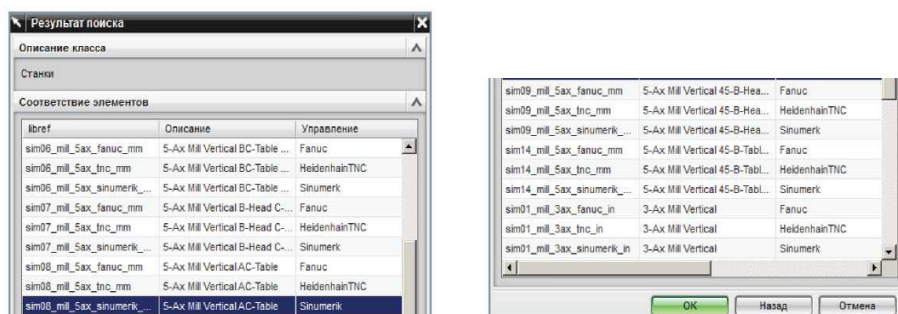


Рисунок 3.2 - Список доступних фрезерних верстатів як результат пошуку у бібліотеці

У бібліотеці є верстати різних кінематичних схем. Для кожної кінематичної схеми доступні три постпроцесори (чи системи ЧПУ - Sinumerik, Fanuc, Heidenhain TNC) для роботи в метричній системі і три постпроцесори для роботи в дюймовій системі. Виберемо sim08_mil_5ax_sinumerk_mm - верстат компонування 8, фрезерний 5-осьовий, система ЧПУ Sinumerik, метрична система.

У колонці **Опис** можна побачити короткий опис кінематичної схеми - 5-осьовий вертикально-

фрезерний, поворотні осі А і С розташовані на столі.

Після вибору необхідного верстата натиснемо **ОК**. З'явиться діалогове вікно кріплення (позиціонування) деталі (рис. 3.3).

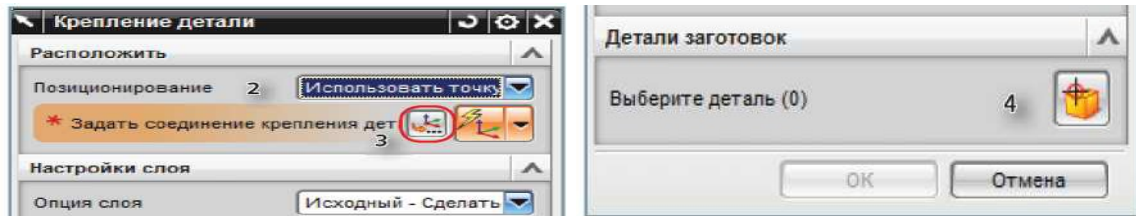


Рисунок 3.3 - Діалогове вікно кріплення (позиціонування) деталі

Є різні способи позиціонування. Розглянемо тільки параметр **Використати точку кріплення деталі**. При описанні кінематики верстата створюється і точка кріплення деталі (правильніше сказати, система координат кріплення). Якщо у деталі створити точку кріплення, то ці дві системи координат будуть поєднані і деталь встановиться на стіл автоматично.

Задаємо параметр **Використати точку кріплення деталі (2)**, діалогове вікно злегка зміниться, і з'явиться пункт **Задати з'єднання кріплення деталі**, виконаємо команду **Меню СК (3)**, система координат з динамічними маркерами з'явиться на місці РСК (саме для наочності вона була відображена), можна її редагувати. Активуємо поле **Вибору деталі (4)** і виберемо деталь. Натиснемо **ОКИ**. У графічній області з'явиться верстат зі встановленою деталлю по центру столу (рис. 3.4).

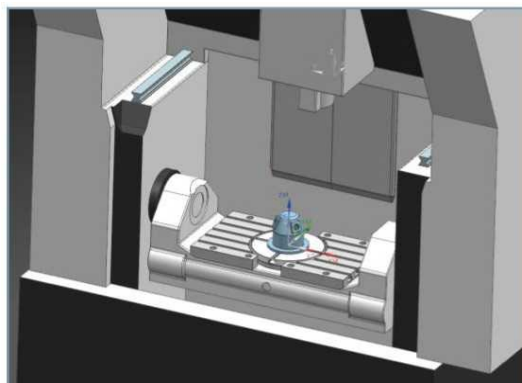


Рисунок 3.4 - Верстат зі встановленою деталлю

Ще раз натисніть **ОКИ** в найпершому діалоговому вікні.

У інформаційному вікні будуть відображені повідомлення про те, що у нового верстата інший магазин інструментів і осередку магазину перестворюють. Просто закрийте це вікно.

Симуляція в NX може виконуватися на основі траєкторії і на основі коду УП (термін G- код також використовується). Симуляція на основі траєкторії використовується, якщо немає налагодженого верстата для виявлення грубих помилок. Нас цікавить симуляція на основі коду УП, тобто коду, який видає постпроцесор, і на основі саме цього коду працює верстат. У NX для симуляції вимагається, щоб головна система координат була розміщена в «0» верстата. Розташування «0» верстата по-різному для верстатів різних кінематичних схем, для нашого верстата «0» верстата

розташований на торці шпинделя.

Створимо нову систему координат самого верхнього рівня і розташуємо її, як на рис. 3.6, параметр **Призначення** - **Головна**, **Нульова точка** - **0**.

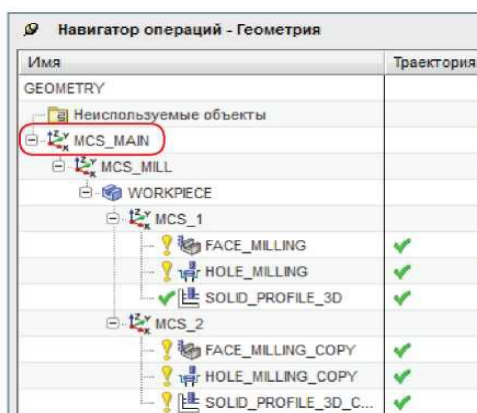


Рисунок 3.5 - СК верхнього рівня, встановлена у «нулі» верстату, необхідна для правильної роботи симуляції

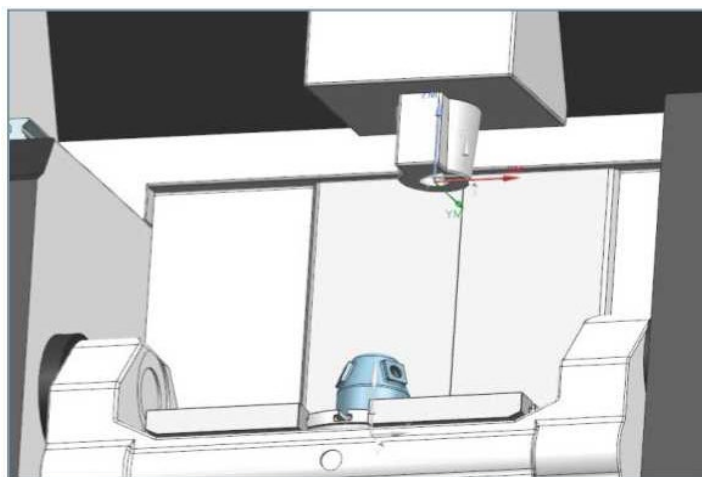


Рисунок 3.6 - Розташування «нуля» верстату обраного верстату

У одному проекті не має бути більше однієї головної СКС. Систему координат MCS_MILL відредагуйте так: **Призначення** - **локальна**, **Спеціальне виведення** - **Нульова точка**, **Нульова точка** – **1** (що відповідає G54). З огляду на те, що головна СКС повинна використовуватися постпроцесором для виведення «0» програм і для прив'язки програми до деталі, постпроцесор, який працює спільно з симулятором верстата, спеціально відкоригований, щоб УП виводити не в головній, а в локальній системі координат, у якої задано спеціальне виведення - нульову точку. Тепер все готово для симуляції траєкторій. Симуляція може бути виконана для однієї операції або групи операцій. У останньому випадку операції виконуються в порядку їх розташування на виді програм навігатора операцій. Переключіться на вигляд **програм Навігатора операцій**. Створіть групу TEST усередині групи 1234 і перенесіть туди обидві операції SOLID_PROFILE_3D (рис. 3.7).

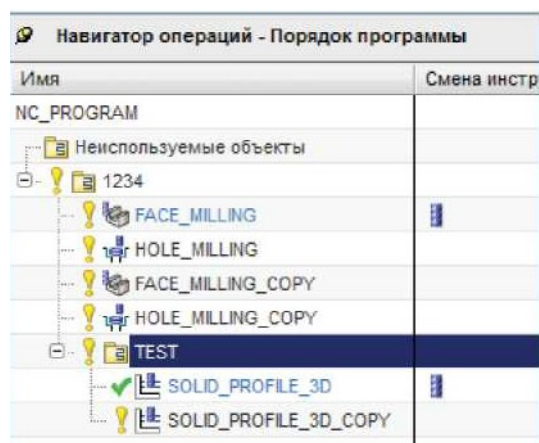


Рисунок 3.7 - Группа программ TEST підготовлена для симуляції

З контекстного меню групи програм TEST виконаєте **Траєкторія – Симуляція** (чи виконаєте відповідну команду в панелі інструментів) З'явиться діалогове вікно управління симуляцією (рис. 3.8).

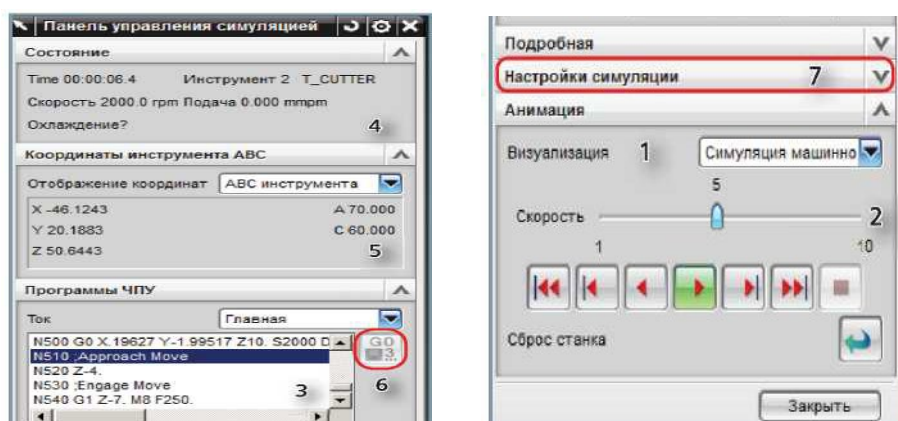


Рисунок 3.8 - Діалогове вікно керування симуляцією верстату

Перемкніть режим симуляції на значення **Симуляція машинного коду (1)** і виконаєте команду **Пуск** в панелі управління симуляцією (2).

Ця панель аналогічна панелі управління верифікацією. Швидкість симуляції також можна регулювати. У вікні **Програми ЧПУ (3)** відображається текст працюючої УП, вікна **Стан (4)** і **Координати інструменту ABC (5)**, де йде індикація поточних координат, режимів обробки, часу та ін. В **Навігаторі операцій** ім'я виконуваної операції відображається червоним кольором. Після закінчення симуляції стане активна команда виведення УП (6), натиснувши на яку, можна зберегти текст програми, що управляє, у файл для передачі на верстат. Можна використати і звичайний шлях постпроцесування, причому при завантаженому верстаті в списку ви бачитимете тільки один постпроцесор, пов'язаний з верстатом.

У нашому випадку стіл нахилився від нас, і нам обробка не видно.

Перейдіть в навігатора складання і погасіть там відображення станини верстата і дверей механізму зміни інструменту.

Це можна робити, не виходячи з симуляції. Розгорніть вид, результат показаний на рис. 3.9.

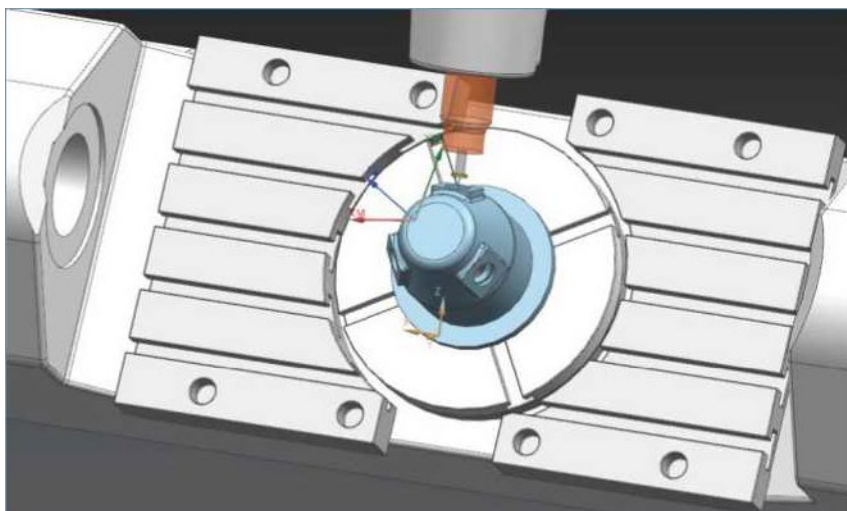


Рисунок 3.9 - Вузли верстату можна скрити при симуляції, якщо сморід заважають перегляданню

Симуляція зовнішнього файлу

У NX можлива симуляція зовнішнього файлу або файлу програми, що управляє. Це може бути файл програми, створений в іншій САМ- системі або відредагований на верстаті.

Команда виконується з **Меню - Інструменти - Симуляція програми ЧПУ з файлу**. Команда не відображається в стрічковій панелі за умовчанням, для виклику використовується дублююча система меню попередніх версій NX (рис. 3.10).

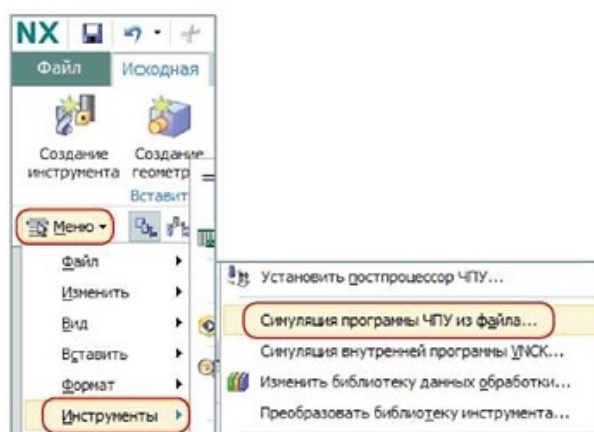


Рисунок 3.10 - Розташування команди «Симуляції програми ЧПУ» із файлу

Продовжуємо використати попередній приклад. Верстат завантажений, задані система координат і заготівля.

Ключова дія, яку необхідно зробити до завантаження файлу, — це задати «0» програм. NX при завантаженні файлу переглядає усе СКС і використовує ту, в якій задано **Спеціальне виведення** — **Нульову точку і Номер нульової точки**, що відповідає використовуваному в УП (в даному прикладі

для G54 номер має бути 1, для G55 — 2 і т. д.).

При симуляції із зовнішнього файлу відсутня траєкторія, отримана розрахунком в NX, тому в діалоговому вікні симуляції відсутні прапор **Показати траєкторію** і перемикач симуляції **На основі машинного коду** або **На основі траєкторії**. Зате є параметр **Траєкторія по УП**, який відновлює траєкторію за текстом УП. Симуляція знімання матеріалу можлива, якщо заготівля описана в геометричній групі WORKPIECE.

При запуску симуляції зовнішнього файлу можлива поява повідомлень показаних на малюнку 3.11.

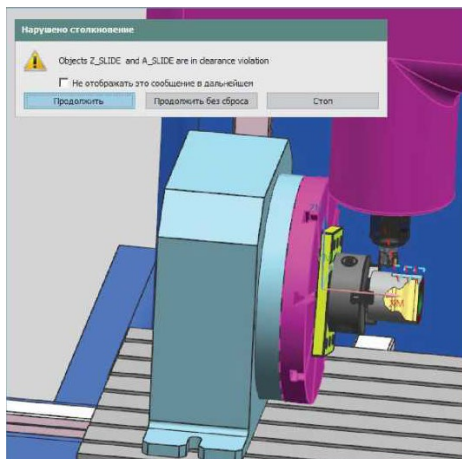


Рисунок 3.11 - Повідомлення про порушенні гарантованого проміжку при симуляції

При виконанні команди **Стоп** буде показаний номер проблемного кадру УП. При виконанні команди **Продовжити** рух буде продовжено, і при фактичному зіткненні буде виведено нове повідомлення про зіткнення з підсвічуванням вузлів, що зіткнулися, червоним. При виконанні команди **Продовжити без скидання симуляція** буде продовжена, і усі проблемні кадри записуватимуться у файл-протокол.

Навігатор верстата Генератор моделі верстата — це модуль NX CAM, який дозволяє налаштовувати власні моделі верстатів для проведення симуляції і служить для опису кінематики верстата. Для роботи з Генератором моделі верстата служить спеціальний навігатор в панелі ресурсів — Навігатора верстата.

Спочатку подивимося в навігатора складання (рис. 3.12).

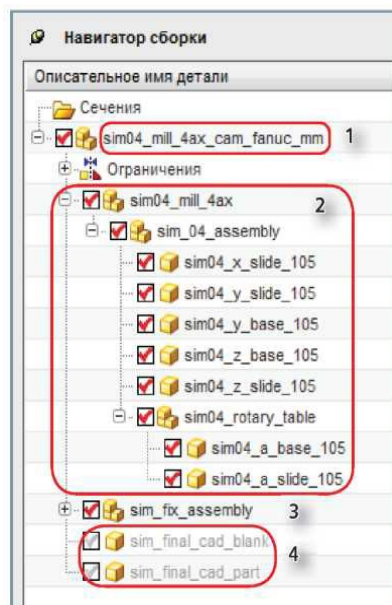


Рисунок 3.12 - Ієрархія компонентів верстату, оснащення, деталі у навігаторі збірки

Наш САМ- приклад є складанням верхнього рівня, в складання входить верстат у вигляді підзборки (2), причому файл sim04_mill_4ax містить тільки кінематику, а складання верстата міститься в sim_04_assembly, далі вкладені файли вузлів як компоненти.

Пристосування також задане як складання (3), деталь і заготівля (4) — це теж компоненти складання, в даному випадку їх відображення відключене(але вони завантажені, про що свідчить сіра галочка статусу відображення).

Подібна організація об'єктів дозволяє легко управляти відображенням верстата і навіть замінювати його компоненти.

Команда виклику навігатора верстата розташована на **Панелі ресурсів (5)** і доступна, тільки якщо ви працюєте в модулі **Обробка (рис. 3.13)**.

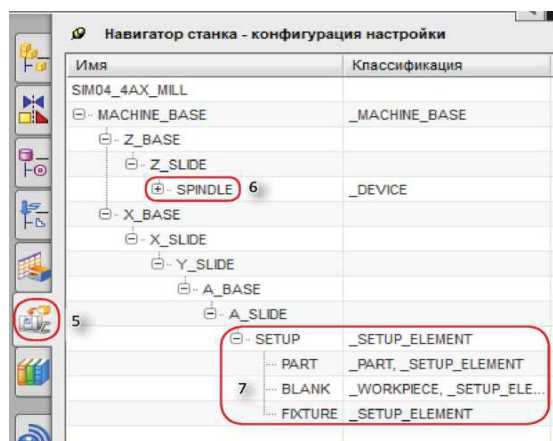


Рисунок 3.13 - Ієрархія компоненту верстату, оснащення, деталі у навігаторі верстату

Якщо відкрити дерево кінематики, то наочно видно, як розташовані рухливі вузли верстата

відносно станини (компонент MACHINE_BASE). Шпиндельний вузол (6) при цьому переміщається по тих, що направляють уздовж осі Z, деталь, пристосування і заготівля (7) входять в об'єкт SETUP (Установ) і разом з поворотним столом обертаються навколо осі A. Поворотний стіл закріплений на рухливих санчатах і переміщається разом з ними по тих, що направляють уздовж осі Y, ці санчата змонтовані на інших рухливих санчатах, які, у свою чергу, переміщаються по осі X.

Репроцессор Окрім кінематики, для складних верстатів потрібно налаштування репроцессора. Репроцессор — це модуль NX, зворотний постпроцесору. Він перетворює кадри УП в рухи моделі верстата. Симуляції верстата в кодах УП (чи G— кодах) обов'язково включає стадію репроцессирування. Це завдання не таке просте, наприклад кадр з лінійним переміщенням просто перетвориться в сегмент траєкторії. Один кадр — один рух. Складніші кадри, наприклад цикли або команди трансформації координат, ініціюють цілі процедури за розрахунком серії рухів інструменту або перетворення координат.

У NX налаштування репроцессору не вважається інженерним завданням. Вважається, що це повинно виконуватися спеціалізованими підрозділами. Проте на роботу репроцессору можна впливати і на інженерному рівні. Для верстатів із стандартною кінематикою цього часто досить.

Тема 4 Перенос заготовки та 5-осьова позиційна обробка

Перенесення заготовки і 5-осьова позиційна обробка

Часто призматичні деталі вимагають обробки з різних сторін. Така обробка може виконуватися з декількома установками на різних верстатах, а за наявності 5-осьового верстата може виконуватися на одному верстаті, коли поворотні осі є настановними. У подібних випадках говорять про 5-осьову позиційну обробку або про 3+2-осеву обробку. Відмінностей на рівні операцій в NX немає, відмінності проявляються в ієрархії геометричних груп і їх параметрах.

Як показує статистика, близько 70% 5-осьових верстатів використовуються саме для 5-осьової позиційної обробки. Виготівників притягає можливість обробки складних виробів з одного установа. Це істотно економить час, підвищує точність, унеможлиблює помилки при зміні програм і перепозиціонуванні. А необхідними умовами для цього послужили зниження цін на 5-осьові верстати і доступне програмування таких операцій в системах підготовки програм для верстатів з ЧПУ.

При цьому виді обробки поворотні рухи виконуються поза процесом різання. Це як би набір 3-осьових траєкторій, що виконуються для різного положення осі інструменту. В цьому випадку жорсткість технологічної системи істотно вища, оскільки поворотні осі затиснуті в процесі різання.

Підтримка позиційної обробки в операціях

При обробці корпусних деталей з різних сторін, але з одного установа широко використовуються операції обробки граней, коли інструмент встановлений перпендикулярно грані. Цей випадок розглядався в главі, присвяченою операціям FLOOR_WALL і FACE_MILLING. NX при цьому автоматично розраховує необхідні кути повороту деталі або інструменту.

Значне заощадження часу виходить і при свердлінні безлічі отворів, осі яких мають різну орієнтацію в просторі. На перший погляд, свердління здається простішою операцією, в порівнянні з фрезеруванням, але практика показує, що при ручному перепозиціонуванні вироби для 3-осьового свердління часто виникають помилки, що призводять до браку виробу. 5-осьове свердління виконується автоматично, що збільшує продуктивність і усуває помилки. Цей випадок також розглядався в главі, присвяченою свердлінню.

При обробці формотворного оснащення частіше використовуються 3-осьові контурні операції. Але за наявності 5-осьового верстата можливі фіксоване відхилення осі інструменту і робота в 3-осьовому режимі. Відмінність же від 3-осьового варіанту полягає в тому, що можна використати коротший інструмент для роботи поблизу високих стінок. Для коротшого інструменту можна використати більш високі режими різання. Також можна застосовувати інструмент меншого діаметру, що зменшує об'єм подальших доопрацювань і ручних операцій. Ще одним позитивним моментом від нахилу інструменту є те, що різання в цьому випадку здійснюється периферією інструменту (вершина інструменту, де умови різання найгірші і швидкість різання рівна 0, виведена з обробки), що покращує якість поверхні і збільшує стійкість інструменту. Самі режими обробки вище при позиційній 5-осьовій обробці. Якщо поворотні осі працюють як настановні, то шпиндельна голівка (чи стіл) фіксується до початку різання, і в процесі різання можна використати режими, характерні для 3-осьової обробки.

Як відомо, заготівля зазвичай задається в геометричній групі Workpiece. В межах одного об'єкту Workpiece підтримується розрахунок ЗвПО (заготовки в процесі обробки). У NX є спеціальний функціонал по передачі заготовки між різними групами Workpiece, він використовується для передачі поточного стану заготовки між різними установками.

Перенесення заготовки Новий функціонал перенесення заготовки не вимагає збереження ЗвПО в окремий файл, не використовуються системи координат для позиціонування. ЗвПО автоматично вирівнюється по поточному стану оброблюваної деталі. Установи можуть програмуватися як в одному, так і в різних файлах, при цьому ЗвПО між установами асоціативно пов'язана. Розглянемо обидва випадки. Відкрийте приклад `ipw_transfer_setup_1.prt` (рис. 4.1).

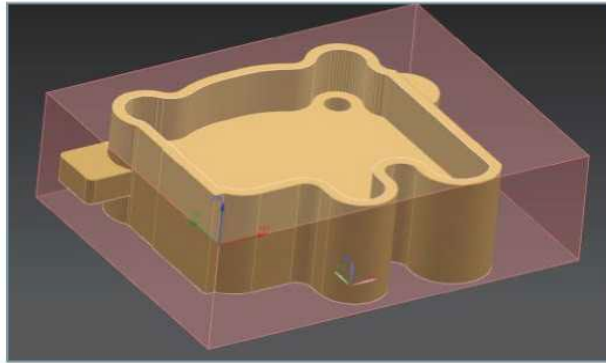


Рисунок 4.1 - Деталь та заготівля на першому установі в окремому САМ проекті

У ній заготівля задана традиційним чином і створені операції фрезерування і свердління. Необхідно виконати верифікацію операцій. Результат обробки показаний на рис. 4.2.

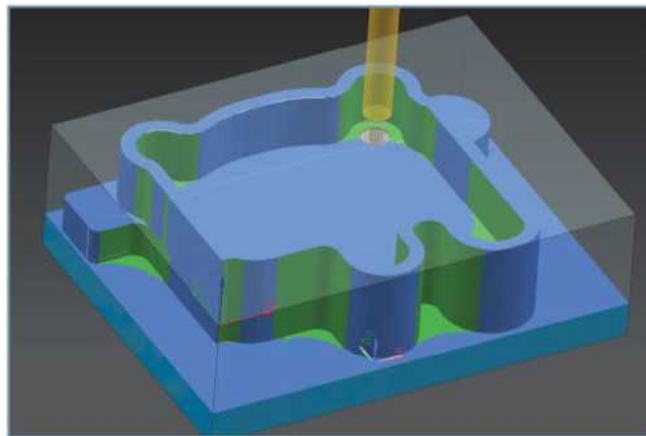


Рисунок 4.2 - Верифікація операцій на першому установі

Вважаємо, що заготівля закріплена в лещатах, її нижня частина недоступна для обробки. Закінчувати обробку будемо з другого установка, перевернувши деталь на 180°, для цього відкриємо приклад `ipw_transfer_setup_2.prt`. Відкриємо діалогове вікно геометричної групи **WORKPIECE** і натисніть на ліхтарик, щоб показати заготовку (рис. 4.3).

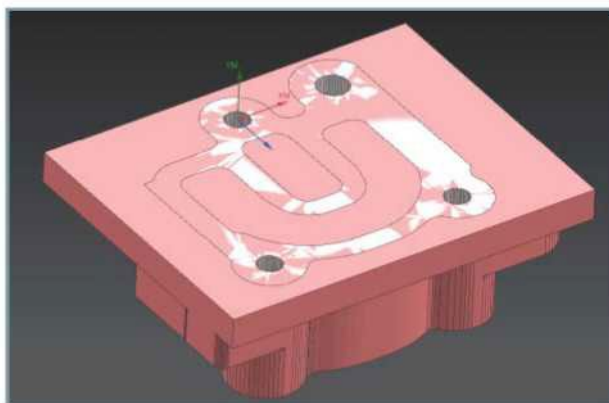


Рисунок 4.3 - Заготівля автоматичний вирівнювання за новим положенням деталі на іншому установі

Як бачимо, заготівля передана з першого установка. Це виконується таким чином, в групі WORKPIECE виконаєте команду **Задати заготовку**. У новому діалоговому вікні видно, що заготівля задана як **ЗвПО - Заготівля в процесі обробки** (рис. 4.4).

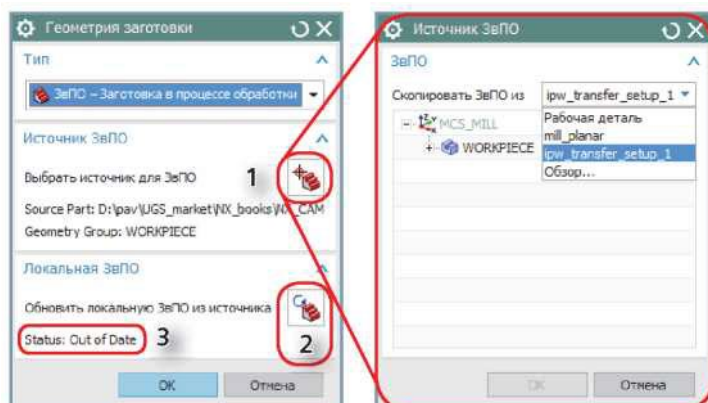


Рисунок 4.4 - Для завдання заготовки на іншому установі вказується файл та геометрична група WORKPIECE першого установка

Команда **Вибрати джерело для ЗвПО (1)** дозволяє вказати іншу геометричну групу WORKPIECE, яка може знаходитися як в робочій деталі, так і в іншому файлі. У другому випадку можна буде вибрати ім'я файлу.

В даному випадку ім'я джерела вказане прямо в основному вікні.

Також видно структура геометричних груп першого установка. У загальному випадку проект міг містити декілька установів, і необхідно вибрати потрібну нам геометричну групу.

Зауваження: компонент-деталь має бути тим же самим і, відповідно, мати те ж ім'я, нове положення ЗвПО визначається по новому положенню деталі на другому установі.

У основному діалоговому вікні є команда **Відновити локальну ЗвПО з джерела (2)**. Поряд з командою вказаний статус оновлення (3), зараз це **Out to Date** (вимагає оновлення). Цей механізм підтримує асоціативний зв'язок другого і першого установов, і при зміні операцій першого установка

заготівля на другому установе вимагає оновлення.

Головна і локальні системи координат Вище говорилося, що багато операцій NX підтримують 5-осьову позиційну обробку без використання додаткового функціонала.

Інший підхід до 5-осьової позиційної обробки — це створення додаткових систем координат, які використовуються для розрахунку операцій. Цей підхід дозволяє використати будь-які 3-осьові і 2.5-осьові операції для 5-осьової позиційної обробки.

У проекті обробки може бути декілька систем координат верстата (СКС), одна з них має бути головна, вона використовується постпроцесором для виведення координат в програму, що управляє. Інші є локальними і можуть використовуватися для 5-осьової позиційної обробки. При цьому система автоматично розраховує кути повороту робочих органів верстата для позиціонування. Це можна простежити на прикладі fl1_setup_1.prt. На рис. 4.5 показана корпусна деталь. Вимагається обробити два фланці, розташованих під кутом до основного тіла. У отворах є проточка, для обробки якої використана операція SOLID_PROFILE_3D. Для створення операцій на фланцях використовуються допоміжні системи координат, у яких вісь Z перпендикулярна фланцю.

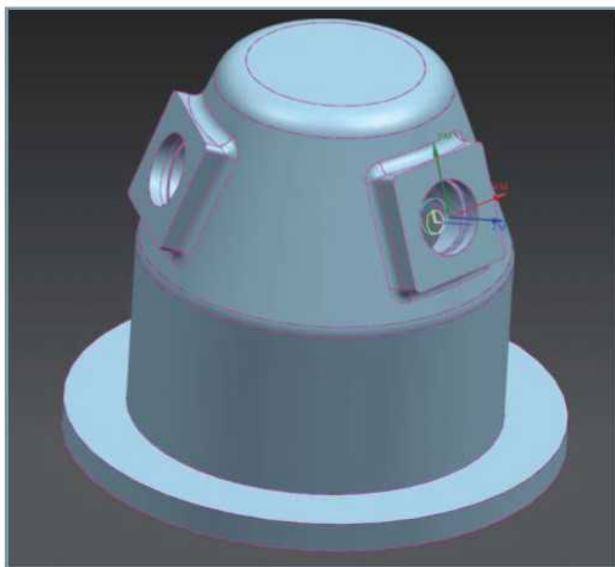


Рисунок 4.5 - Корпусна деталь, де застосовується 5-осьова позиційна обробка

Організація геометричних об'єктів в навігаторі операцій показана на рис. 4.6. Система координат MCS_MILL (1) є головною, відносно неї виводитимемо програми, що управляють. Системи координат MCS_1 (2) і MCS_2 (3) - локальні, вони служать для розрахунку 3-осьових програм. Проте в них є параметри, які впливають на спосіб виведення координат в програмі, що управляє.

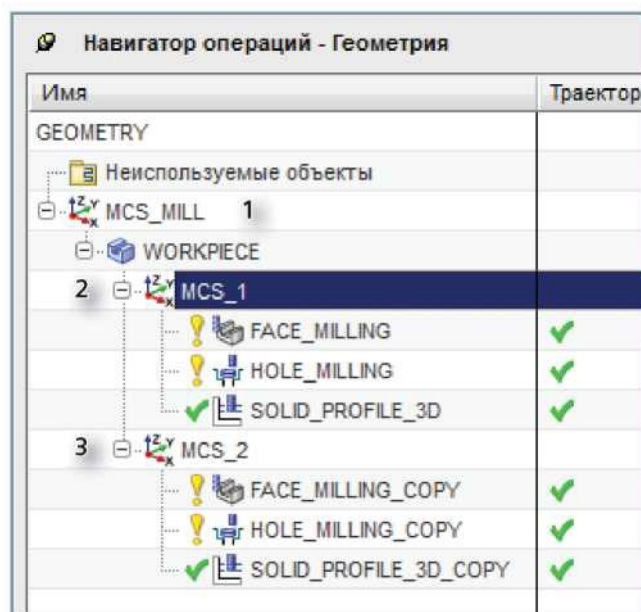


Рисунок 4.6 - Організація геометричних об'єктів у навігаторі операцій для 5 - осьової позиційної обробки

Двічі клацніть по об'єкту MCS_MILL, відкриється нове діалогове вікно (рис. 4.7).

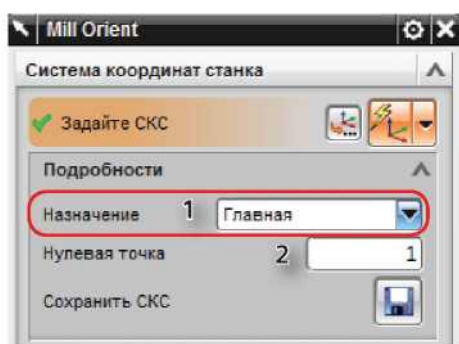


Рисунок 4.7 - Установки для родительської (головної) ВКВ

Розкрийте групу параметрів **Подробиці**. Параметр **Призначення (1)** заданий **Головна**, а параметр **Нульова точка (2)** рівний 1.

Головна система координат має бути тільки одна. Нульова точка визначає номер використаної G- функції (1 - це G54, 2 - G55 і т. д.). Тепер двічі клацніть по об'єкту MCS_1, відкриється нове діалогове вікно (рис. 4.8).

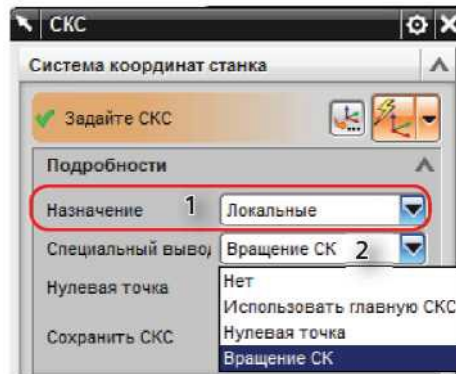


Рисунок 4.8 - Установки для вкладки (локальной) ВКВ

Параметр **Призначення (1)** заданий як **Локальна**, в цьому випадку доступний ще параметр **Спеціальне виведення (2)**. Розглянемо два його значення: **використати головну СКС і Обертання СК**. При значенні **Використати головну СКС** усі координати в траєкторії виводяться відносно головної системи координат. Значення **Обертання СК** дозволяє використати спеціальний функціонал по перерахунку координат. На рис. 4.9 і 4.10 показаний фрагмент УП для системи ЧПУ Sinumerik для першого і другого випадків.

```

N380 ;Initial Move
N390 G0 A70. C60. 1
N400 CYCLE832(_camtolerance,0,1)
N410 COMPOF
N420 TRAFOOF
N430 G54
N440 ORIMKS
N450 ORIAXES
N460 G0 X.196 Y76.044 Z95.323 S2000 D2 M3
N470 ;Approach Move
N480 Z81.323
N490 ;Engage Move
N500 G1 Z78.323 M8 F250.
N510 X.393 Y80.039
N520 G3 X0.0 Y72.049 I-.196 J-3.995
N530 ;Cutting
N540 I0.0 J5.99
N550 ;Retract Move

```

Рисунок 4.9 - Приклад КП, де виводяться тільки команди поворотних осей

```

N380 ;Initial Move
N390 G0 A70. C60. 1
N400 CYCLE832 (_camtolerance,0,1)
N410 COMPOF
N420 TRAORI
N430 G54
N440 ORIMKS
N450 ORIAXES
N460 TRANS X46.32056 Y-26.74319 Z102.51506
N470 AROT X53.94761
N480 AROT Y54.46865
N490 AROT Z30.64234 2
N500 G0 X.19627 Y-1.99517 Z10. S2000 D2 M3
N510 ;Approach Move
N520 Z-4. 3
N530 ;Engage Move
N540 G1 Z-7. M8 F250.
N550 X.39254 Y2.00001
N560 G3 X0.0 Y-5.99035 I-.19627 J-3.99518
N570 ;Cutting
N580 I0.0 J5.99035
N590 ;Retract Move

```

Рисунок 4.10 - Приклад КП, де виводяться команди поворотних осей та трансформації координат

Кадр, де задані поворотні рухи, однаковий (1), проте в другому випадку додатково виводяться команди перенесення нульової точки і розвороту площини обробки TRANS і AROT (2), і надалі виводяться координати відносно локальної системи координат (3).

Такі програми простіше в розумінні і редагуванні для оператора верстата.

Перенесення заготовки(продовження)

Розглянемо ще один приклад. Відкрийте ipw_Workpart_setup_1.prt. Тут є пристосування типу Tombstone, що дозволяє виконувати обробку декількох деталей одночасно. Зазвичай така обробка виконується на горизонтально-фрезерних оброблювальних центрах. У нашому випадку це дві однакові деталі, але вони встановлені в положення першого і другого установу відповідно (рис. 4.11).

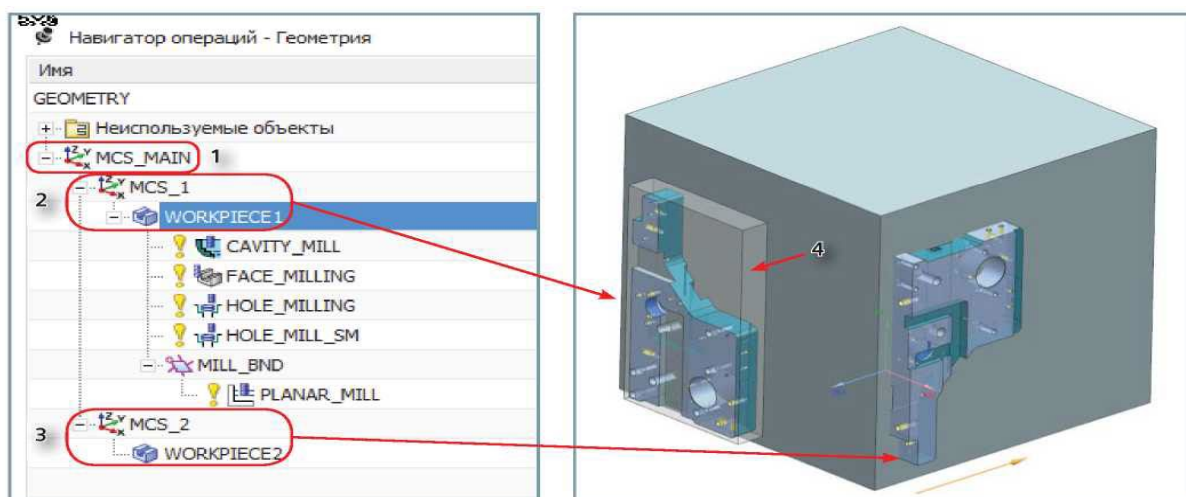


Рисунок 4.11 - Два встанови в одному САМ проекті

З точки зору обробки, в NX є головна система координат (1), використовувана для прив'язки до столу верстата, локальні системи координат разом з геометричними об'єктами WORKPIECE для кожного установу (2 і 3). На першому установі заготівля (4) задана блоком(компонентом складання).

Для завдання заготовки на другому установі використовуємо функціонал перенесення заготовки.

Двічі клацніть по об'єкту WORKPIECE2, в діалоговому вікні, що з'явилося, виконаєте команду **Задати заготовку**, задайте тип заготовки як **ЗвПО - Заготівля в процесі обробки** (Рисунок 4.12).

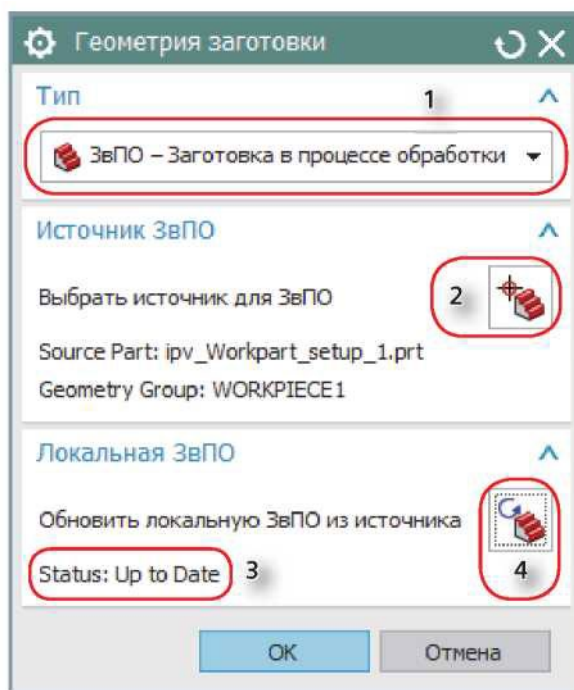


Рисунок 4.12 - Для завдання заготовки на іншому установі вказується друга геометрична група WORKPIECE цього ж файлу, де вказана заготівля першого установу

Виконайте команду **Вибрати джерело для ЗвПО (2)**, в новому діалоговому вікні параметр **Скопіювати ЗвПО** з вказує на **Робочу деталь**, це нас влаштовує. Вкажіть WORKPIECE1 і натисніть **ОК**. Статус нового положення ЗвПО (3) має значення **None (Ні)**. Виконайте команду **Відновити локальну ЗвПО з джерела (4)**. ЗвПО буде відображена в новому положенні (рис. 4.13), а статус оновиться до значення **Up_to_date** (оновлено). Натисніть **ОК** двічі.

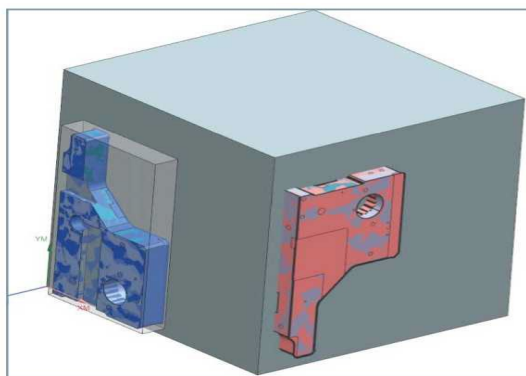


Рисунок 4.13 - Заготівля автоматичний вирівняна за положенням деталі на іншому установі

Скопіюйте операцію CAVITY_MILL з WORKPIECE1 в WORKPIECE2. У копії замініть

інструмент на EM_50MM (оскільки колишній інструмент занадто великий для доопрацювання) і генеруйте операцію. В даному випадку також корисно включити параметр **Обрізка по силуетних лініях** в діалоговому вікні **Параметри різання - Обмеження**. Перегенеруйте операцію, результат показаний на рис. 4.14. Як бачимо, операція враховує ЗвПО.

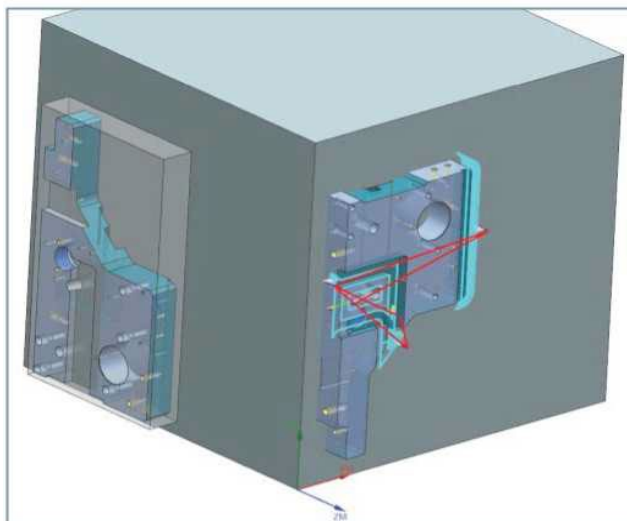


Рисунок 4.14 - Траєкторія обробки показує, що коректна заготівля використовується

Підтримка позиційної обробки в операціях(продовження)

FLOOR_WALL_IPW (продовження) Відкрийте приклад Floor_wall_multiaxis_setup_1.prt (рис. 4.15).

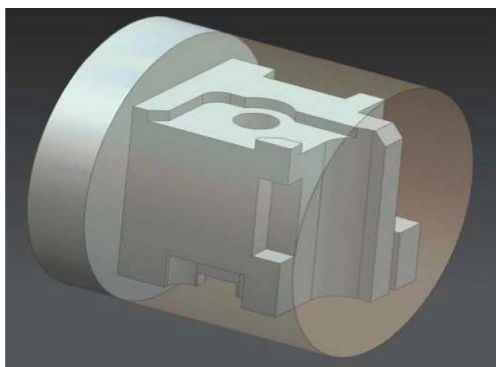


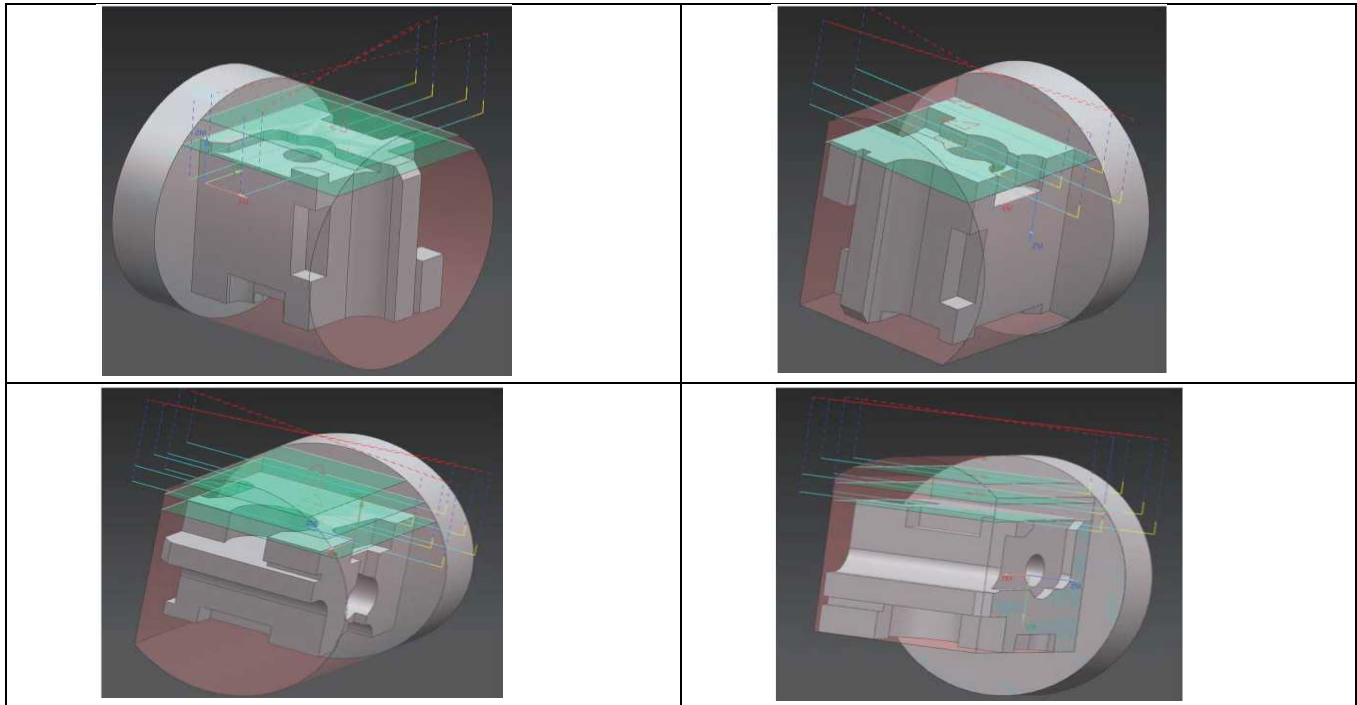
Рисунок 4.15 - Деталь для ілюстрації операції FLOOR_WALL_IPW при використанні 5 - осьової позиційної обробки

Деталі такого типу нерідко мають багато пазів і вирізів, які накладаються один на одного, і використання обробки на основі окремих граней може бути неефективним. Крім того, для таких деталей чорнова і чистова обробки не так строго розділені, як на деталях типу матриць і пуансонів, і використання класичної операції CAVITY_MILL недоцільно.

Деталь можна повністю обробити на 4-осьовому верстаті. Усі траєкторії можна отримати, використовуючи один тип операцій - FLOOR_WALL_IPW. Можна сказати, що матеріал зніматимемо

«елементарними об'ємами». У цьому прикладі вже є операції обробки. Перші чотири показані в таблиці. 4.1. Кожна наступна виконується після повороту деталі навколо осі X.

Таблиця 4.1 - Підтримка позиційної обробки в операціях



На першій операції заготівлю є циліндр (показаний напівпрозорим тілом). На наступних операціях видно, що у заготовки-циліндра зрізані лиски. Також видно, що оброблювана грань розтягується до контуру заготовки (ЗвПО). У цих операціях вісь інструменту вказана **нормально до першої грані** (рис. 4.16) і включений параметр **розтягнути дно до Зовнішньої лінії заготовки** в діалоговому вікні **Параметри різання – Обмеження** (рис. 4.17).

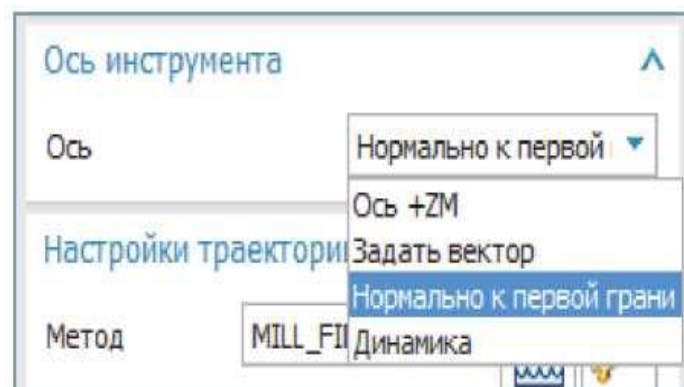


Рисунок 4.16 - Вісь інструменту задається параметром «Нормально до першої грані»

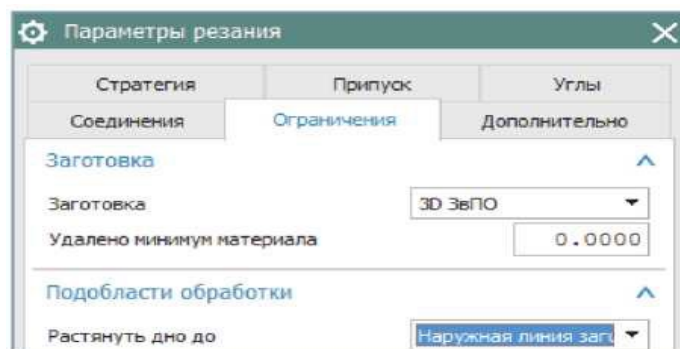


Рисунок 4.17 - Розташування параметру «Розтягнути дно до зовнішньої лінії заготовки»

Операцію FLOOR_WALL_POCKET залишимо без коментарів, відмітимо тільки, що вона обробляє кишеню, показану на рис. 4.18 цифрою 1, і йде до операції FLOOR_WALL_SLOT. Це видно з навігатора операцій (2). На рис. 4.18 показана операція FLOOR_WALL_SLOT. Її особливістю є те, що в ній є всього один прохід посередині паза, в діалоговому вікні операції задано **Число проходів 1 (3)**. Ця можливість підтримується усіма операціями FLOOR_WALL.

Також звернете увагу на попередній перегляд області обробки, грань розтягнута, але враховано, що кишеня (1) вже оброблена.

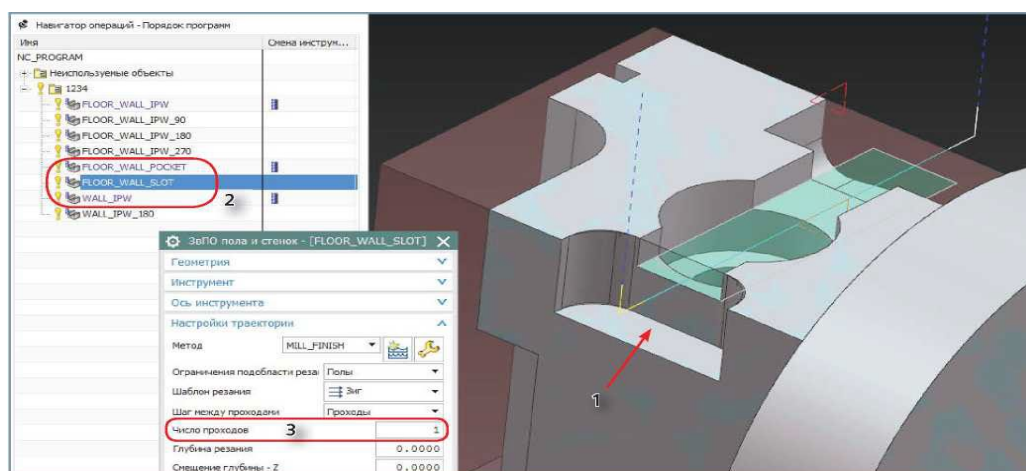


Рисунок 4.18 - Однопрохідний варіант операції FLOOR_WALL

Операція WALL_IPW обробляє верхню частину стінки, виділеної синім кольором (рис. 4.19). У цій операції дно не задане, тому установка осі інструменту за умовчанням не спрацьовує і вісь задана явно по +Z. Стінка є дуже високою для обробки з одного боку, тому для обмеження рівнів заданий параметр **Зміщення глибини - Z**.

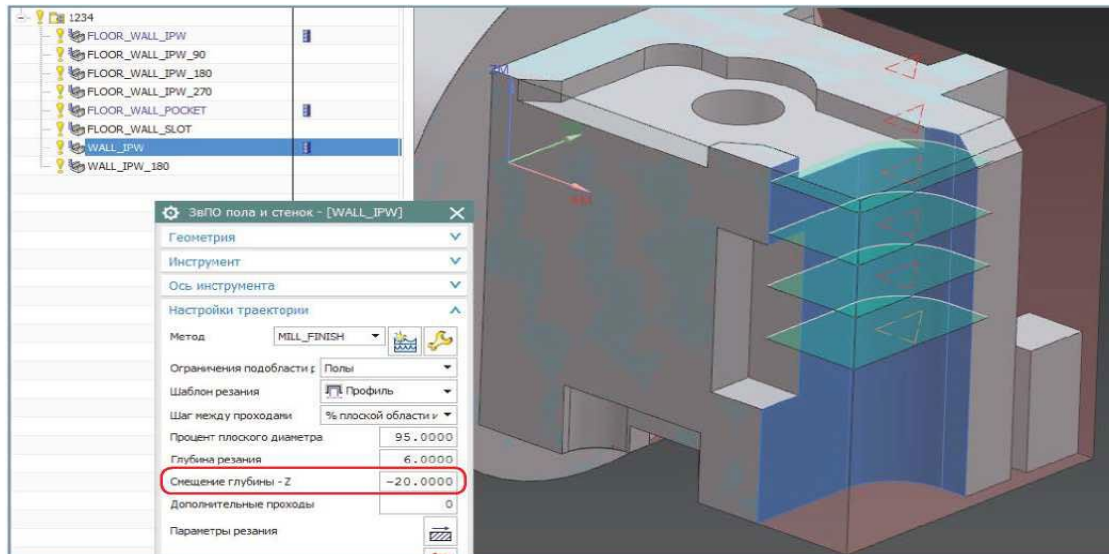


Рисунок 4.19 - Варіант обробки частини стінки, коли дно не завдано

Інша частина стінки обробляється операцією WALL_IPW_180 (рис. 4.20), в якій вісь інструменту розгорнута на 180°. Для повороту осі інструменту зручно використати параметр **Динаміка**, після чого будуть доступні динамічні маркери осей і кутів повороту (показані на малюнку). Параметр **Зміщення глибини - Z** тут не використовується (рівний 0), оскільки матеріал в нижній частині стінки вже знятий і враховується через ЗвПО.

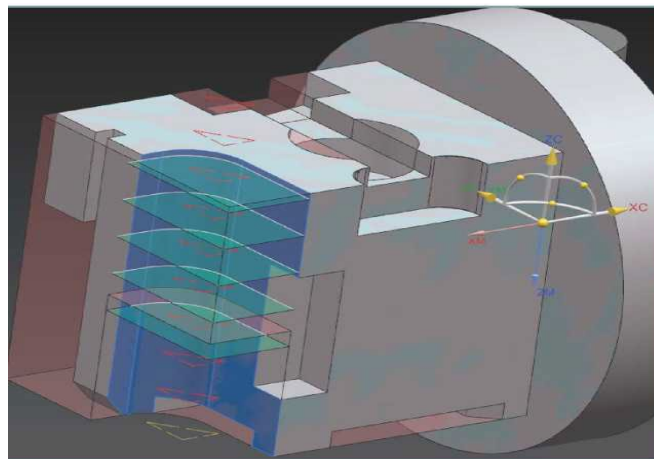


Рисунок 4.20 - Доробка частини стінки що залишилась зі зворотної сторони

Обробка бічних пазів(GROOVE_MILLING)

Для обробки бічних пазів в NX додана спеціальна операція - GROOVE_MILLING. Її теж можна віднести до операцій на основі об'ємів. Операція знаходиться в групі mill_planar. Відкрийте приклад side_slot_setup_1.prt. Створіть операцію GROOVE_MILLING з установками як на рис. 4.21.

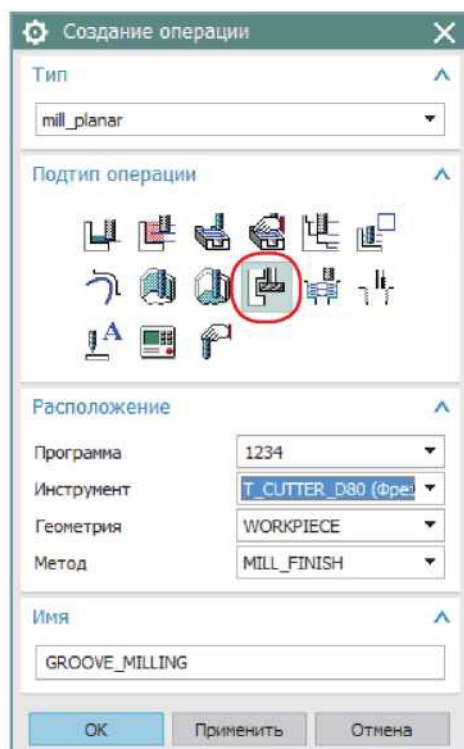


Рисунок 4.21 - Розташування операції GROOVE_MILLING

Діалогове вікно операції (рис. 4.22) містить можливість завдання геометрії бічного паза як окремого типу об'єкту.

Виконайте команду **Задати геометрію бічного паза (1)** і вкажіть дно бічного паза (з точки зору осі Z це стінка). Система автоматично розрахує об'єм, що знімається, і відобразить його в графічній області. Специфічними параметрами операції є **Рівні різання (2)**, вони визначають порядок проходів.

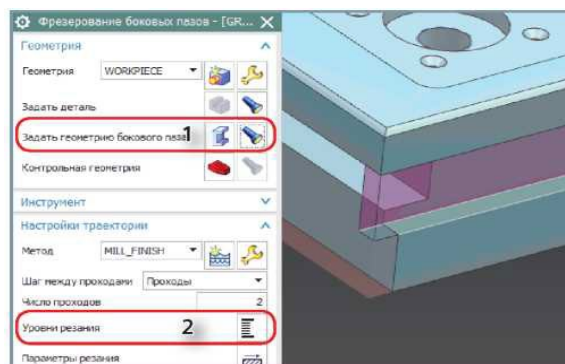


Рисунок 4.22 - Діалогове вікно операції GROOVE_MILLING

Але в цій операції вони виконуються необов'язково зверху вниз (рис. 4.23). Частіше вони виконуються від середини. Мітки рівнів проходів і їх порядок відображаються в графічному вікні спеціальними маркерами.

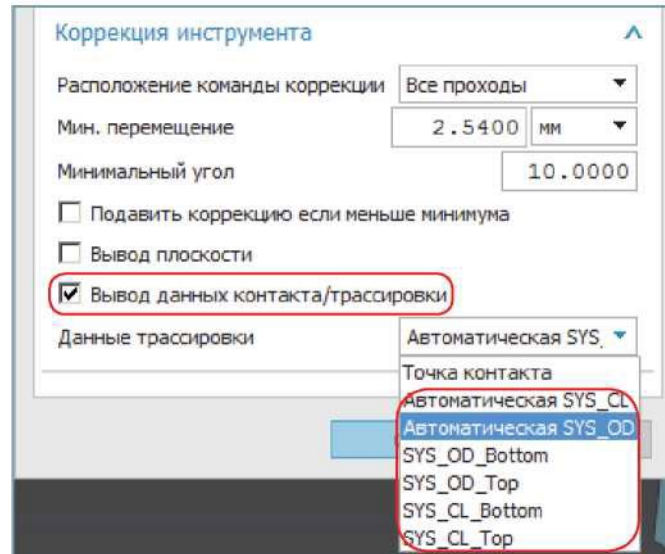


Рисунок 4.25 - Варіанти завдання точок трасування в операції GROOVE_MILLING

На рис. 4.26 показана траскторія, де точка контакту задана як **Автоматична SYS_OD**. В цьому випадку можна обробляти точні пази неточним інструментом.

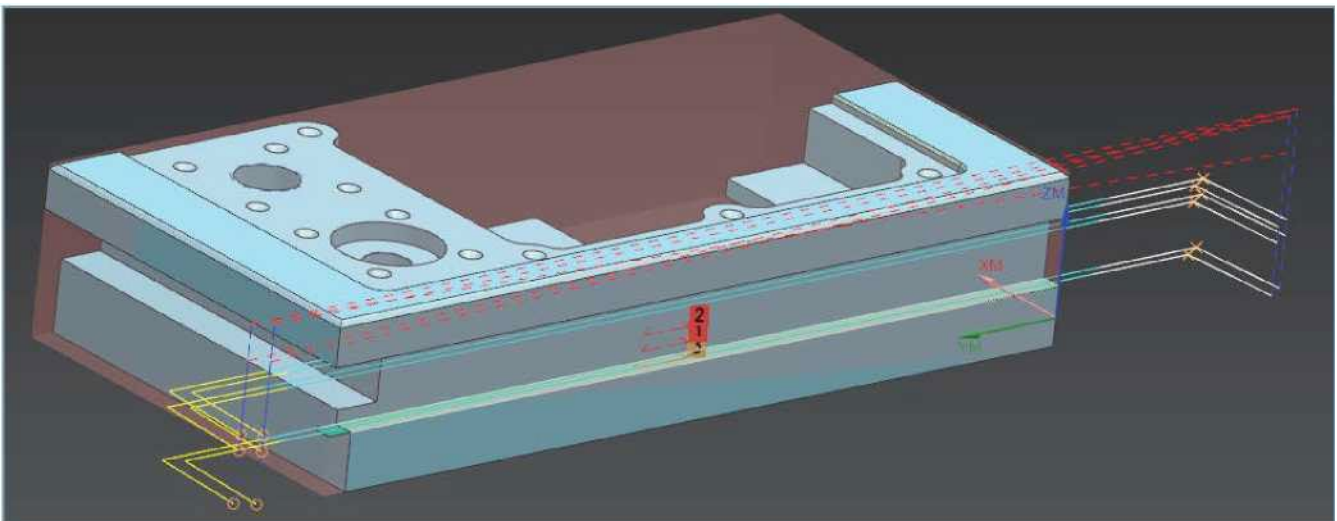


Рисунок 4.26 - Результат операції GROOVE_MILLING з автоматичною зміною точки трасування

Операція загального переміщення (GENERIC_MOTION) Вона дозволяє створювати траскторію на основі елементарних рухів або підоперацій. Послідовність позицій інструменту вказується явно, при цьому доступні усі можливості меню Точка і прив'язки. У кожній позиції можна задати вісь інструменту, тип руху і інші параметри. Операція призначена в основному для перепозиціонування і переорієнтації інструменту між операціями різання. Проте може використовуватися і для створення траскторій різання.

Команда операції знаходиться в групах Mill_multi – axis (рис. 4.27) і Probing. Але ця операція не вимагає ліцензії на 5-осьову обробку.

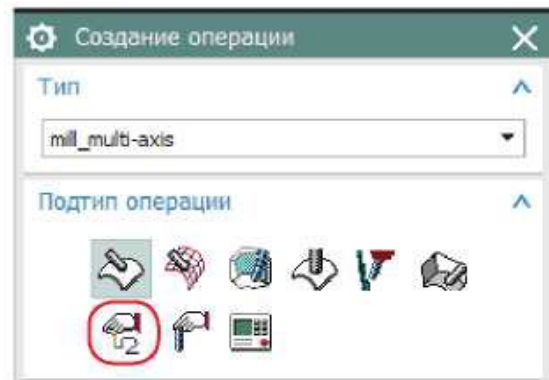


Рисунок 4.27 - Розташування операції GENERIC_MOTION

Продовжимо працювати з прикладом side_slot_setup_1.prt. Потрібно обробити фаски. Створимо операцію GENERIC_MOTION, нове діалогове вікно з'явиться (рис. 4.28).

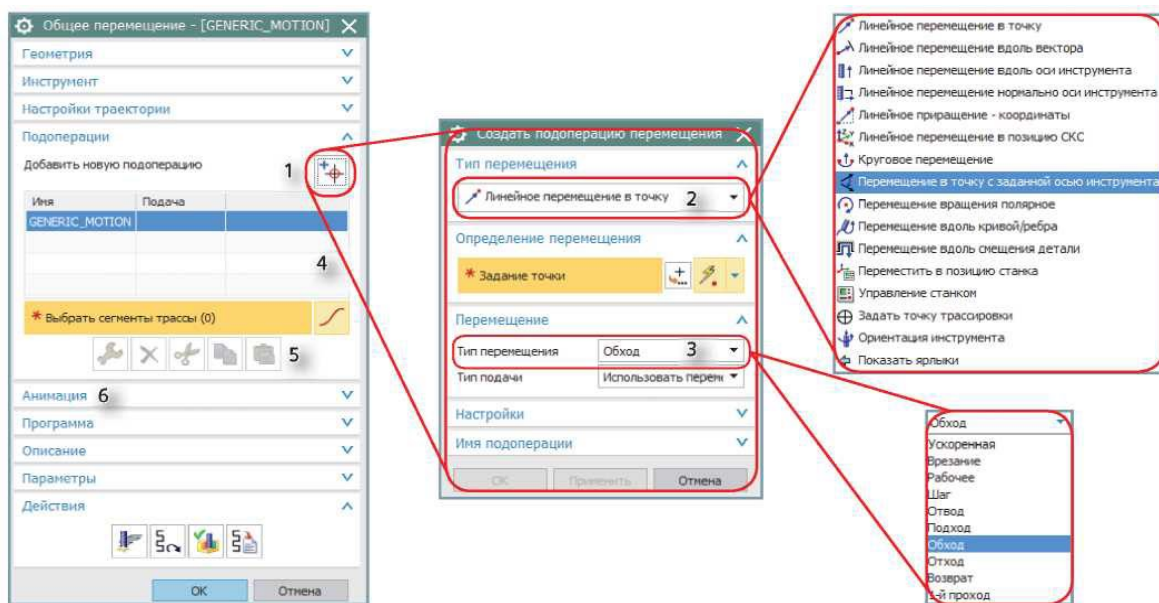


Рисунок 4.28 - Діалогове вікно операції GENERIC_MOTION

Основне діалогове вікно операції містить команду створення підоперацій (1), при її виконанні з'явиться ще одне діалогове вікно, що дозволяє вибрати спосіб завдання переміщення (2) і тип переміщення (3). Після створення підоперацій вони зберігаються в списку (4), для підоперацій зі списку стануть доступні команди редагування (5), а також інструменти анімації/верифікації (6).

Виконайте команду **Додати нову підоперацію** (1), в новому діалоговому вікні виберіть тип переміщення **Переміщення в точку із заданою віссю інструменту**. Цей тип переміщення (спосіб завдання переміщення) працює з динамічними маркерами, тому увесь приклад буде побудований на цьому типі переміщення. Діалогове вікно зміниться (рис. 4.29), а в графічній області будуть показані інструмент і динамічні маркери для його позиціонування і орієнтації. Для позиціонування і орієнтації використовуються стандартні меню точки (1) і вектору (2). Далі нам потрібно маніпулювати

маркерами.

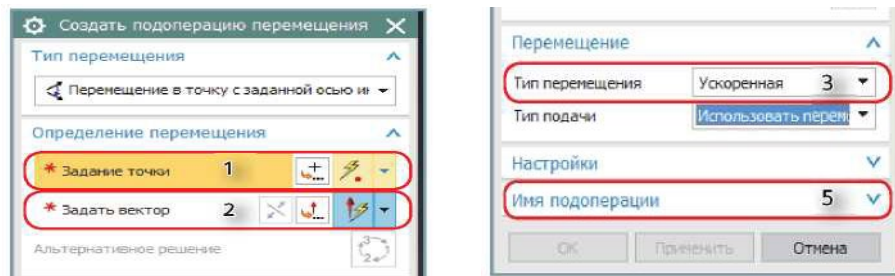


Рисунок 4.29 - Діалогове вікно підоперації переміщення у точку із заданою віссю інструменту

Встановіть інструмент з прив'язкою у вказану точку (рис. 4.30 ліворуч), потягніть за маркер осі Z вгору — це перше положення інструменту (рис. 4.30 праворуч). Задайте **Тип переміщення** — **Прискорена (3)** і натисніть **ОКИ**.

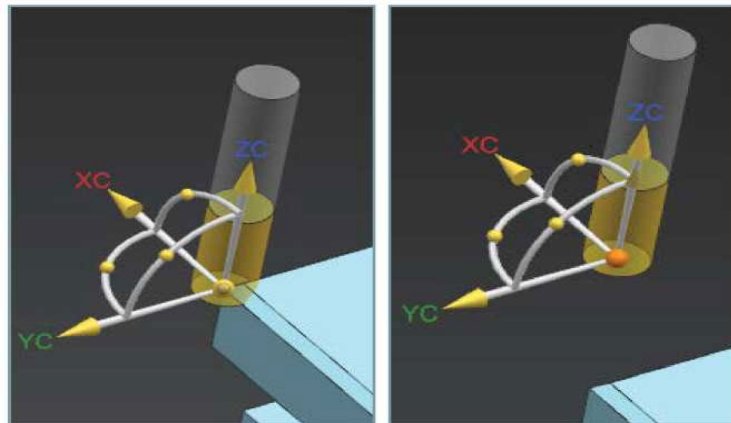


Рисунок 4.30 - Використання динамічних маркерів для позиціонування інструменту

У основному діалоговому вікні операції буде відображена створена підоперація - Rotary_Point_Vector_Move (4 на рис. 4.31), далі в лапках вказано ім'я підоперації. За умовчанням ім'я співпадає з типом, але його можна поміняти в діалоговому вікні підоперації - **Ім'я підоперації (5)**. Якщо підоперація вибрана, то доступні команди її редагування (6).

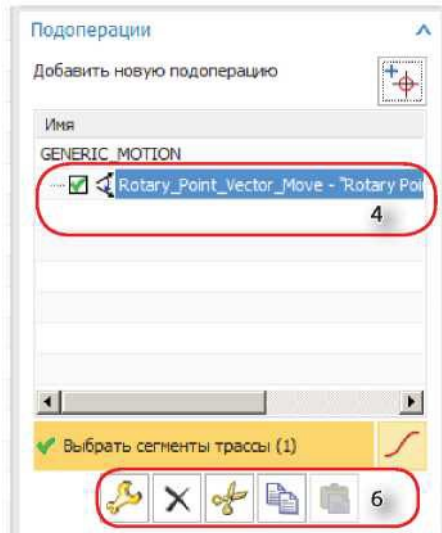
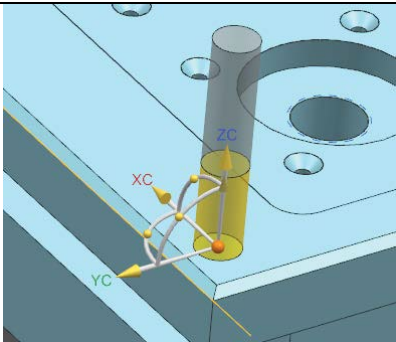
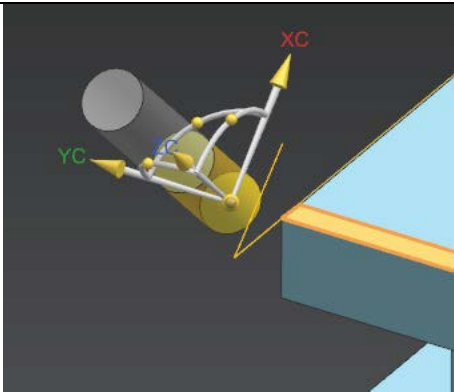
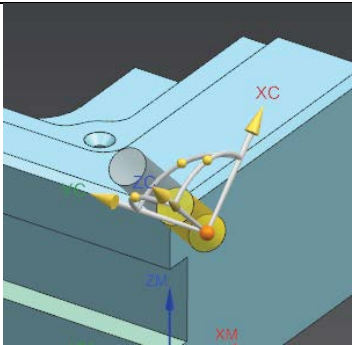
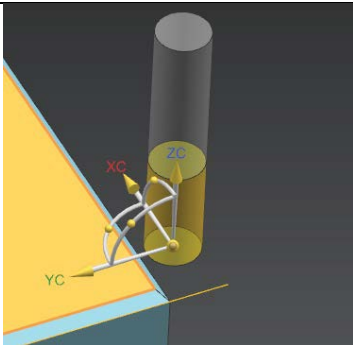
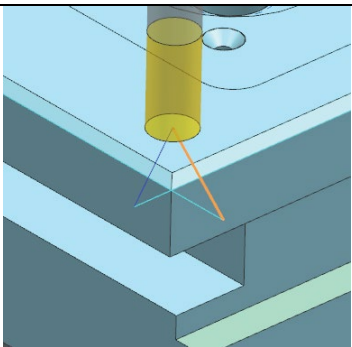


Рисунок 4.31 - На даний момент операція має одну підоперацію

Подальшу послідовність маніпуляцій опишемо у вигляді таблиці (таблиця. 4.2).

Таблиця 4.2 - Продовження завдання підоперації

Додайте нову підоперацію, тип той же. Задайте точку на початку фаски і вектор перпендикулярно грані фаски		Перемістіть інструмент по X, потягнувши за маркер осі X(для забезпечення опускання поза матеріалом). Задайте тип переміщення - Обхід і натисніть ОКИ	
Додайте нову підоперацію, тип той же. Задайте точку і вектор, як показано		Перемістіть інструмент по X, потягнувши за маркер осі X. Задайте тип переміщення - Робоча і натисніть ОКИ. Робочий хід уздовж фаски створений	

	
Додайте нову підоперацію, тип той же. Задайте точку і вектор, як показано(над деталлю для безпечної переорієнтації). Задайте тип переміщення - Обхід і натисніть ОКИ	Додайте нову підоперацію, тип той же. Задайте точку на початку другої фаски і вектор перпендикулярно грані фаски. Змістіть інструмент по Y. Задайте тип переміщення - Обхід і натисніть ОКИ
	
Додайте нову підоперацію, тип той же. Задайте точку і вектор, як показано. Задайте тип переміщення - Робоча і натисніть ОКИ. Робочий хід уздовж другої фаски створений	Додайте нову підоперацію, тип той же. Задайте точку і вектор, як показано(над деталлю для безпечного відведення). Задайте тип переміщення - Обхід і натисніть ОКИ
	Зверніть увагу, що між обробкою першої і другої фасок інструмент відводиться вгору для переорієнтації у безпечному місці

Діалогове вікно операції прикмет вид як на рис. 4.32. При необхідності можна вставити проміжну підоперацію. Вона буде додана після вибраної підоперації. Можливе редагування підоперацій (кнопка з ключиком (1) для виклику діалогового вікна підоперації). Можна переставляти операції, використовуючи кнопки **Вирізувати/Копіювати/Вставити (2)**. Звичайно, можна і видалити підоперацію. Виберіть першу підоперацію і виконайте анімацію (3). Управління анімацією аналогічно верифікації звичайних операцій. Натисніть **Генерувати** і **ОКИ**, щоб закінчити операцію.

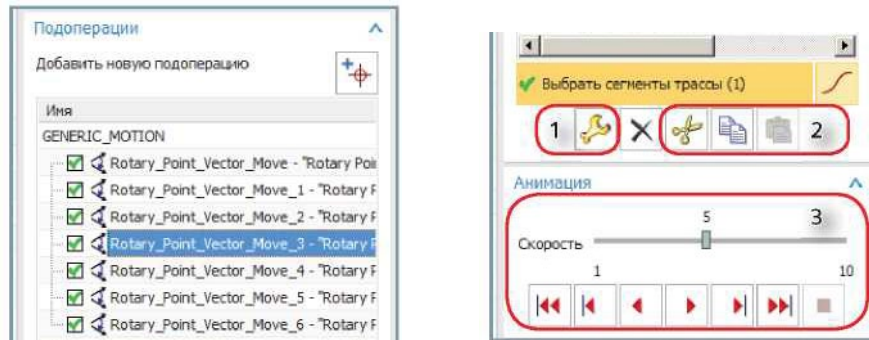


Рисунок 4.32 - Всі подоперації для обробки двох фасок створені

Тема 5 Розробка технологічної операції 5-осьової безперервної обробки в NXCAM

5-осьова безперервна обробка

При цьому виді обробки повороти органів верстата виконуються в процесі різання. Таким чином, кадр УП при 5-осьовій безперервній обробці містить до 5 координат.

Традиційно подібні операції потрібно при обробці турбінних лопаток, крильчаток, шнеків, гвинтів і інших типів виробів складної конфігурації. Вісь інструменту в таких проектах по-різному пов'язана з геометрією оброблюваної моделі або іншими об'єктами (по нормалі до поверхні, під кутом до поверхні, до точки, лінії і т. д.). Окремо виділяють операції, де обробка стінок здійснюється бічною стороною фрези. Також існують операції, де інструмент може автоматично відхилятися від стінки оброблюваного виробу, такі операції затребувані при виготовленні оснащення. У NX можливе використання так званих поверхонь, що управляють, які не є оброблюваними. Усі ці випадки і розглянемо в цій главі.

Операції 5-осьової безперервної обробки зібрані в окрему вкладку - тип mill_multi_axis (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 - розташування команд операцій 5 - осьової безперервної обробки

Основною операцією є операція **Контурна зі змінною віссю інструменту (ОИ) - VARIABLE_CONTOUR** (1), залежно від методу управління ці операції можуть сильно відрізнятися один від одного. Операція **Зі змінною віссю по потоку - VARIABLE_STREAMLINE** (2) є різновидом операції VARIABLE_CONTOUR, але із-за високої затребуваності розглянемо її окремо. Операція **Профіль по контуру - CONTOUR_PROFILE** (3) служить для обробки лінійчастих поверхонь бічною стороною фрези. Операція **5-осьова по Z- рівням - ZLEVER_5AXIS** (4) забезпечує обробку з постійною Z, але з можливістю відхилення осі інструменту від стінки. Усі ці операції можна назвати високорівневими. Існує ще низькорівнева операція: **Послідовне фрезерування - SEQUENTIAL_MILL** (5). Ця операція складається з підоперацій, де на кожному кроці задаються позиція і орієнтація інструменту.

Операція Контурна зі змінною ОИ - VARIABLE_CONTOUR Контурна зі змінною ОИ відповідає особливостям звичайних контурних операцій, тільки вісь інструменту в цій операції міняється в процесі різання і може задаватися різними способами.

Поверхня, що управляє Метод управління **поверхня, що Управляє**, найчастіше використовується в 5-осьовій безперервній обробці, коли вимагається задати орієнтацію осі інструменту відносно нормалі до оброблюваної поверхні. До виробів такого типу відносяться турбінні лопатки, гвинти, шнеки та ін.

Відкрийте приклад vx_0mm_setup_1.prt. У прикладі вже створений інструмент - кульова фреза, такі фрези частіше використовуються на 5-осьових операціях. Наше завдання - обробити верхню поверхню. Приклад простий і зручний для опису параметрів операції. Виконайте команду створення

операції VARIABLE_CONTOUR, з'явиться діалогове вікно операції (рис. 5.2).

Перемкніть метод управління на значення **поверхня (1), що Управляє**. Це найбільш потужний і затребуваний метод в цій операції.

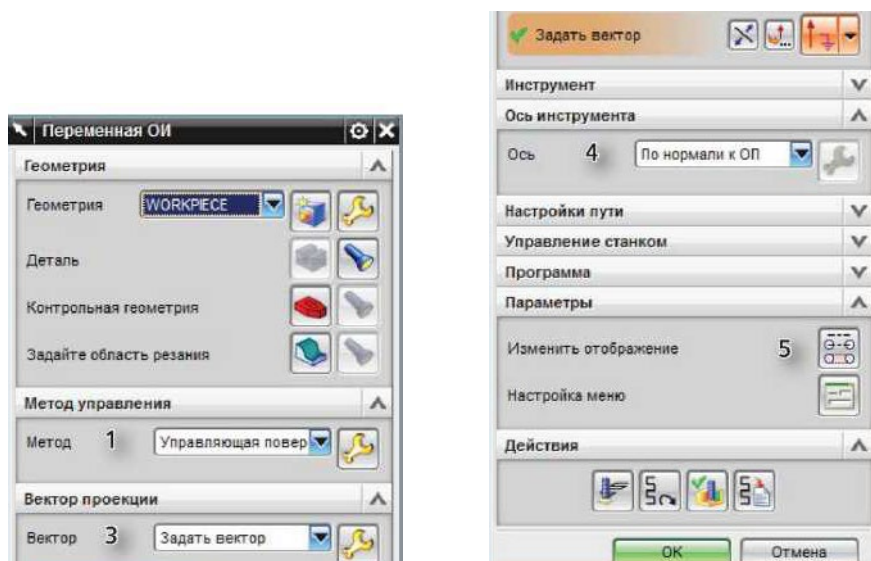


Рисунок 5.2 - Діалогове вікно операції VARIABLE_CONTOUR

При перемиканні методу управління відразу ж відкриється діалогове вікно завдання геометрії (рис. 5.3), що управляє. Виконайте команду **Задати геометрію(2), що управляє**, і вкажіть верхню криволінійну поверхню нашої моделі. Натисніть **ОКИ** двічі, щоб повернутися в основне діалогове вікно. Повторно увійти до діалогового вікна завдання геометрії, що управляє, можна, виконавши команду із зображенням ключика поряд з методом управління.

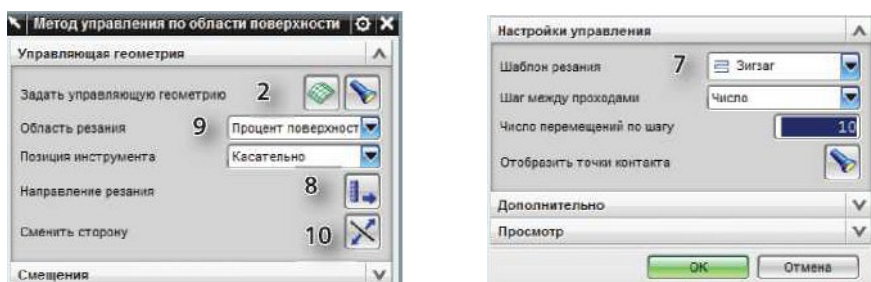


Рисунок 5.3 - Діалогове вікно завдання керуючої геометрії

У основному діалоговому вікні **Вектор проекції (3)** встановите на значення **Задати вектор** і виберіть напрям - Z, **Вісь інструменту (4)** встановите на значення **По нормалі до ОП** (ОП - оброблювана поверхня).

Включимо відображення інструменту при виконанні траєкторії. Ця можливість часто використовується саме для 5-осьових операцій. Виконайте команду Змінити відображення (5) і задайте параметр отобра-жения Інструменту (6) значенням 3D, нижче в полі Частота вкажіть значення 10 (рис. 5.4).

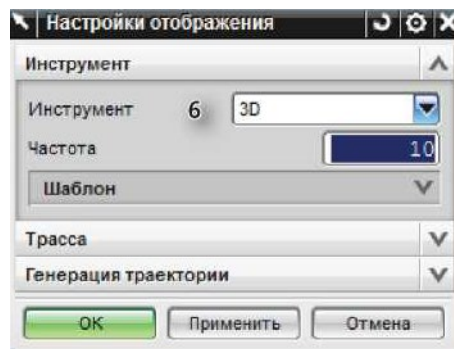


Рисунок 5.4 - Діалогове вікно налагоджень відображення інструменту

Це означає, що інструмент відображатиметься не в кожній точці, а в кожній 10-ій точці (це наочніше). Натисніть **ОКИ** в цьому діалоговому вікні і **Генерувати** в основному діалоговому вікні. Траєкторія буде розрахована і відмалювана разом з інструментом (рис. 5.5). Виконайте анімацію траєкторії (без знімання матеріалу).

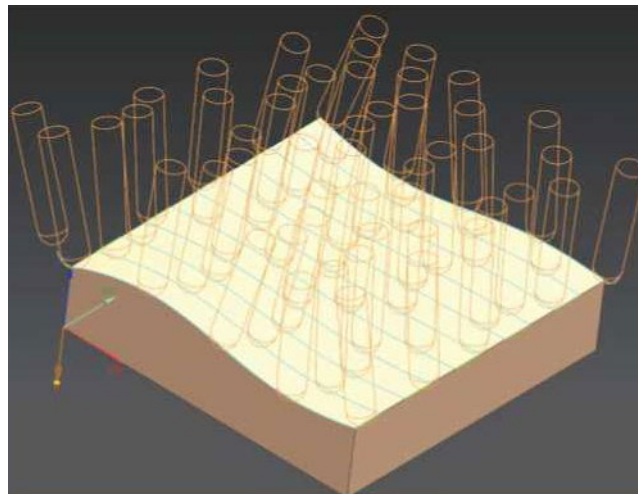


Рисунок 5.5 - Траєкторія відображена разом з інструментом, розташованим за нормаллю до поверхні

Інструмент в кожній точці поверхні розташовується по нормалі до поверхні. Натисніть **ОКИ**, щоб зберегти траєкторію в навігаторові операцій.

Розберемо параметри діалогового вікна завдання геометрії, що управляє. **Шаблон різання (7)** нам вже знаком. Створіть копію операції і в копії змініте його на ZIG. Згенеруйте операцію (рис. 5.6).

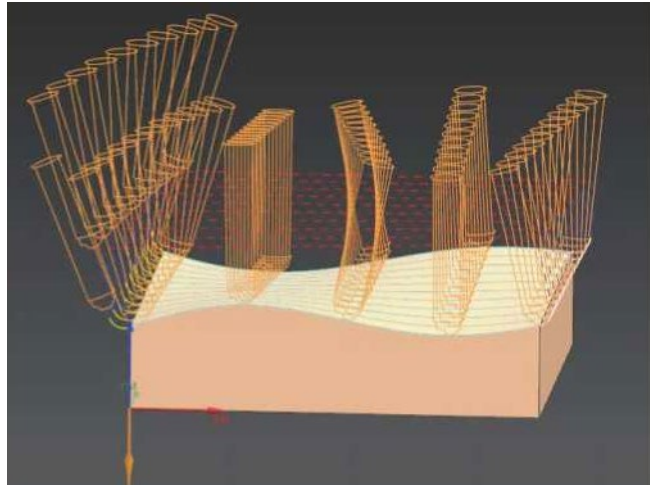


Рисунок 5.6 - Траєкторія, створена шаблоном ЗИГ

Тепер в траєкторії дотримується напрям різання, переходи між проходами здійснюються з підйомом на площину безпеки.

Напрямок проходів або стартовий кут можна змінити, виконавши команду **Напрямок різання (8)**. Створіть копію операції і в копії відкрийте діалогове вікно завдання геометрії, що управляє, виконайте команду **Напрямок різання**. На геометрії, що управляє, будуть відображено 8 стрілок: в кожному з кутів показані дві стрілки (рис. 5.7).

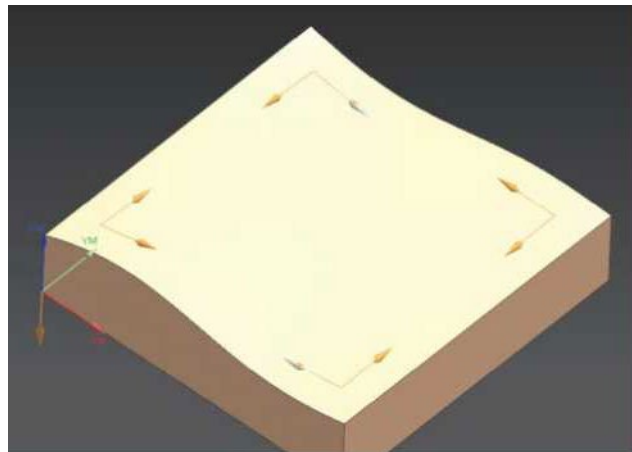


Рисунок 5.7 - Маркери команди «Напрямок різання»

Вибором стрілки ви визначаєте і початковий кут, і напрям проходів. Виберіть стрілку у ближньому до початку координат куту, що йде у напрямку осі Y. Згенеруйте операцію, результат показаний на рис. 5.8.

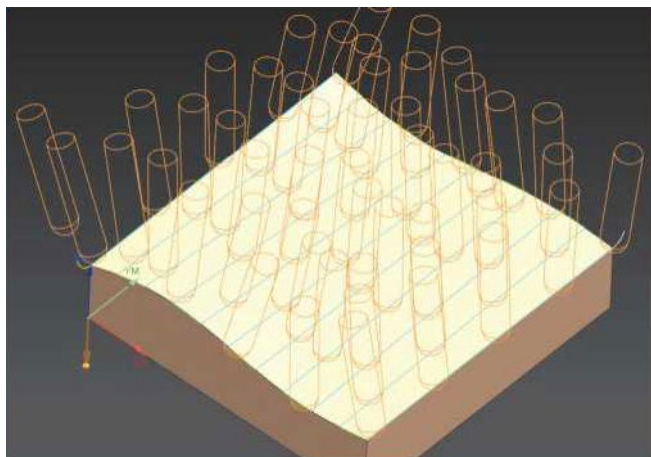


Рисунок 5.8 - Траєкторія з проходами вздовж напрямку осі Y

Можна обробляти тільки частину геометрії, що управляє.

Для цього використовується параметр **Область різання (9)**, що задається через відсоток поверхні. Знову зробить копію першої операції, назвіть її VARIABLE_CONTOUR_PERCENT, в копії відкрийте діалогове вікно завдання геометрії, що управляє, і перемкніть **Область різання** на значення **Відсоток поверхні** (навіть якщо це значення встановлене, виберіть її наново), з'явиться діалогове вікно (рис. 5.9).

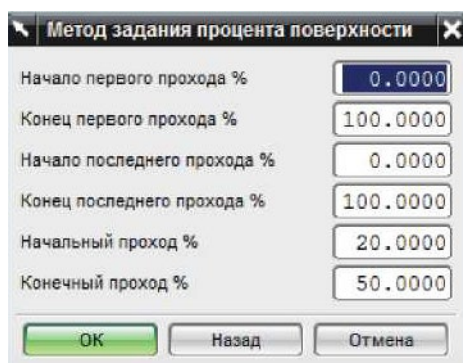


Рисунок 5.9 - Завдання Області різання через параметри «Відсоток поверхні»

Параметри цього діалогового вікна задають: перші два — почало і кінець першого проходу у відсотках від реальної геометрії (0-100 — це повний прохід), наступні два — почало і кінець останнього проходу, останні два — позицію першого і останнього проходів в поперечному напрямі.

Параметр **Змінити сторону (10)** використовується, якщо інструмент підходить до поверхні з іншого боку і необхідно змінити сторону. У нашому прикладі поверхня, що управляє, — це грань твердого тіла, і сторона матеріалу визначається правильно. У разі роботи з листовими тілами(поверхнями) цей параметр корисний.

Орієнтація інструменту Орієнтація інструменту по нормалі до поверхні має і деякі недостатки. Зокрема, для кульових фрез швидкість різання при вершині інструменту дорівнює 0, що негативно позначається на умовах різання. Тому часто використовують орієнтацію інструменту відносно нормалі, але з урахуванням двох кутів: Кута випередження і Кута відхилення. Кут

випередження — це кут між віссю інструменту і нормаллю до поверхні в точці контакту. Він вимірюється в площині, утвореній векторами нормалі і напрямом подання (рис. 5.10). Зверніть увагу, що траєкторія (слід вершини інструменту) не лежить на поверхні, тобто вершина виведена з контакту з деталлю.

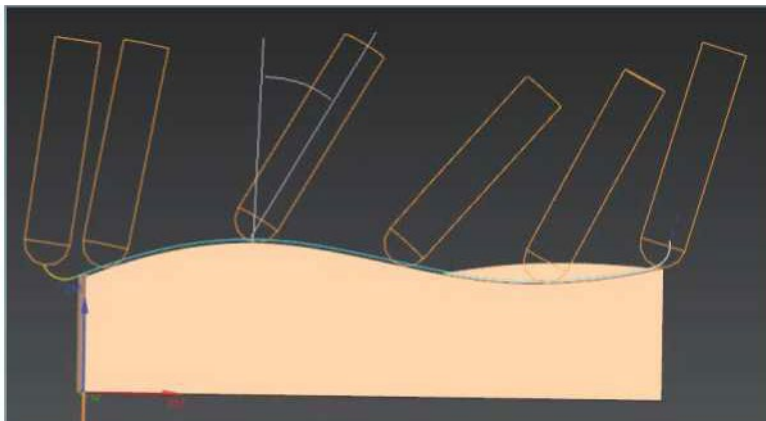


Рисунок 5.10 - Кут випередження - це кут між віссю інструменту та нормаллю до поверхні у точці контакту

Зробіть копію першої операції, задайте вісь інструменту **Під кутом до ОП**. З'явиться діалогове вікно для завдання кутів (рис. 5.11).

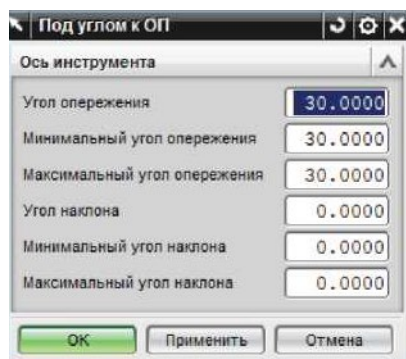


Рисунок 5.11 - Діалогове вікно для завдання кутів випередження та нахилу

NX може працювати з діапазоном допустимих кутів, згладжуючи різкі коливання осі інструменту.

Для наочності задаємо фіксований кут випередження 30°. Задайте значення, як показано.

Також для наочності залишимо тільки один прохід.

Для цього в діалоговому вікні параметрів поверхні, що управляє, **Область різання** задайте через **Відсоток поверхні** і задайте **Початковий і Кінцевий прохід 0%**. **Число переміщень по кроку** встановите 0(при значенні 1 у нас буде один прохід на початку діапазону і один - у кінці. Оскільки у нас почало і кінець діапазону співпадають, то досить тільки одного проходу).

Згенеруйте операцію.

Такий підхід використовується і для реальних завдань, наприклад для обробки скруглення

інструментом з радіусом, рівним радіусу скруглення. Це розглянемо на прикладі обробки лопатки.

Іншим способом виведення вершини інструменту із зони різання являється завдання кута відхилення, він вимірюється в площині, перпендикулярній напрямку подання. Зазвичай використовується один з кутів залежно від розташування перешкод в зоні обробки.

Різні види орієнтації осі інструменту показані на рис. 5.12.

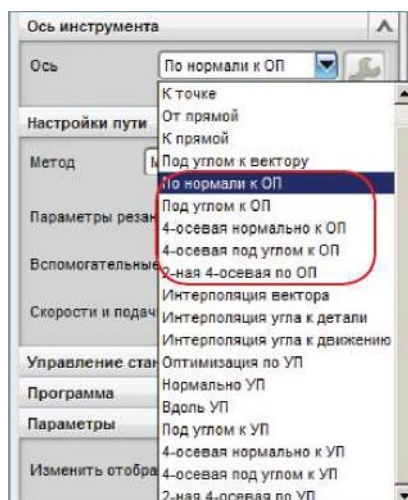


Рисунок 5.12 - Різні види орієнтації осі інструменту у виді списку діалогового вікна

Для методу управління **поверхня, що Управляє**, вибір найбільший. Частина методів недоступна для інших методів управління. Раніше були розглянуті два методи: **По нормалі до ОП** і **Під кутом до ОП**. На цьому прикладі ми розглянемо ще орієнтацію інструменту для 4-осьової обробки, але з використанням нормалі до ОП.

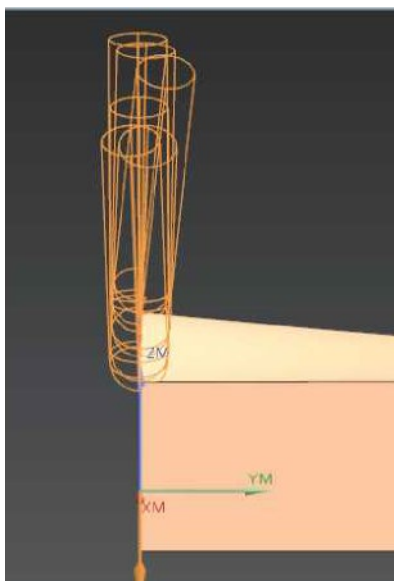


Рисунок 5.13 - Один рядок траєкторії з орієнтацією інструменту нормально до ОП

На малюнку видно, що інструмент відхиляється від напрямку руху убік, йдучи за нормаллю до

поверхні. Це 5-осьовий випадок. У випадку якщо верстат не має п'ятої осі, але є потреба працювати відносно нормалі до поверхні, можна використати орієнтацію інструменту **4-осьова нормально до ОП**. В цьому випадку буде показано додаткове діалогове вікно для завдання осі обертання (рис. 5.14), де необхідно задати напрям поворотної осі верстата.

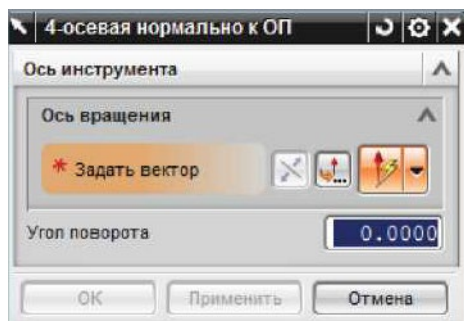


Рисунок 5.14 - Діалогове вікно для завдання осі обертання(4-осьова обробка)

На рис. 5.15 показана 4-осьова траєкторія, при цьому вісь обертання задана як вісь Y. Математично це виглядає так: спочатку визначається 5-осьова орієнтація інструменту, далі вектор осі проектується в площину, перпендикулярну осі обертання і що проходить через точку контакту.

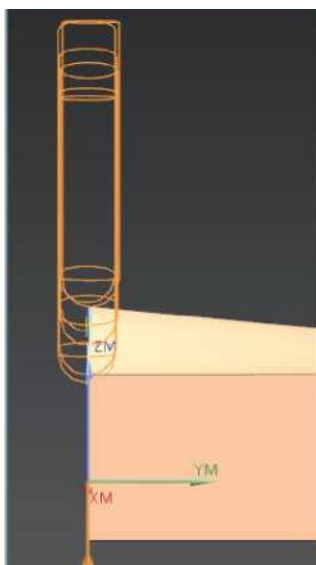


Рисунок 5.15 - Один рядок траєкторії з орієнтацією інструменту 4-осьова нормально до ОП

Обработка лопатки

При обробці лопатки розрізняють обробку центральної частини пера лопатки, обробку хвостовика і бандажа, доопрацювання пера лопатки поблизу хвостовика і бандажа меншим інструментом і доопрацювання радіусу скруглення пера і хвостовика. Усі ці види обробки можна реалізувати операцією VARIABLE_ CONTOUR з методом управління **поверхня, що Управляє**.

Для наочності відкриємо приклад blade_setup_1.prt, в навігаторові операцій виберіть операцію VARIABLE_ CONTOUR_ ZIG (рис. 5.16).

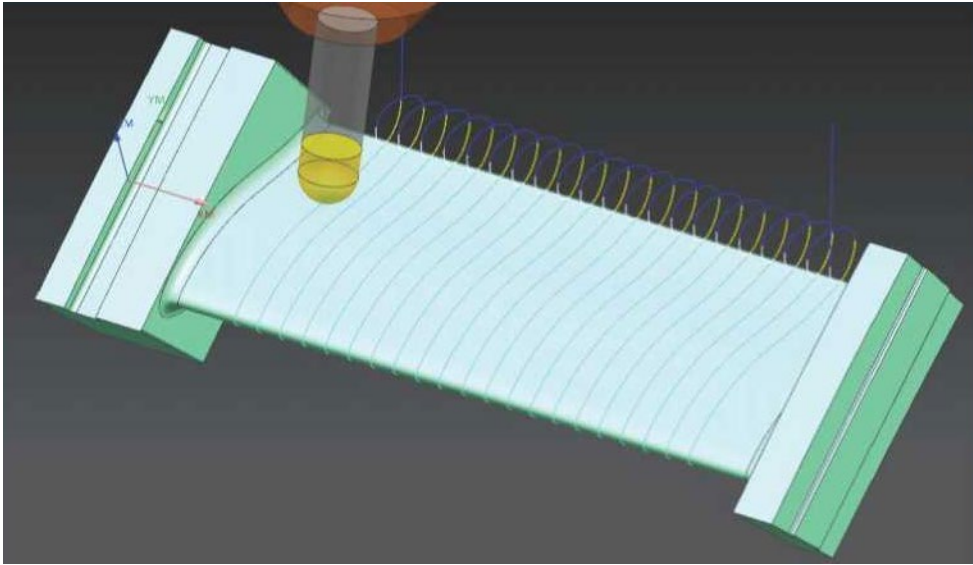


Рисунок 5.16 - Операція для обробки центральної частини пера лопатки

Ця операція обробляє центральну частину пера лопатки. Інструмент має радіус більше, ніж радіус скруглення пера і хвостовика. Розглянемо параметри цієї операції. Перо лопатки утворене двома гранями (1 і 2 на рис. 5.17).

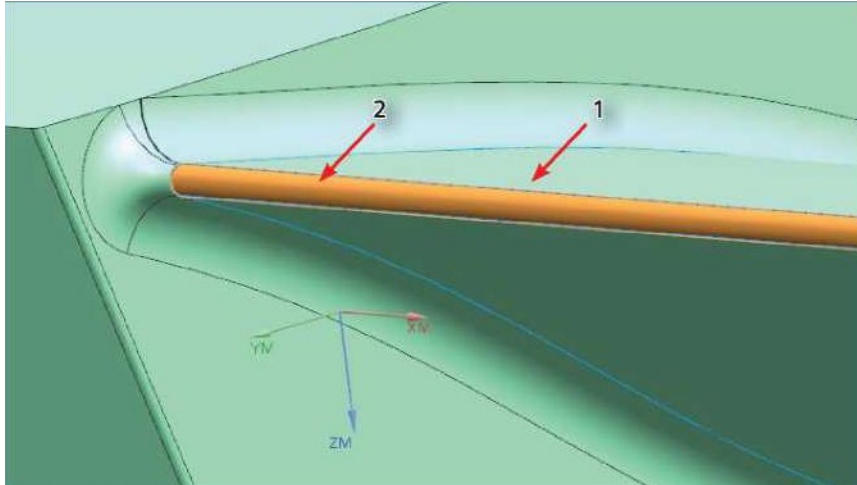


Рисунок 5.17 - Для завдання керуючої геометрії використані дві грані

У діалоговому вікні завдання геометрії, що управляє, ці грані відображені в списку(рис. 5.18). Грань 2 вибрана і тому підсвічується в графічній області.

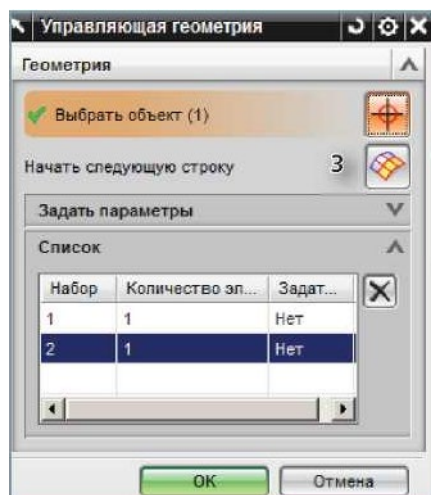


Рисунок 5.18 - Дві грані керуючої геометрії в діалоговому вікні показані списком

Операція допускає використання декількох керівників поверхонь, але накладає на них деякі обмеження. Ці поверхні повинні утворювати регулярну сітку і мати загальні ребра. Частіше використовуються поверхні, що утворюють один рядок, як в даному випадку. Також важливо помітити, що наші дві грані утворили замкнуту геометрію, що управляє. Команда **Почати наступний рядок (3)** використовується для завдання наступних рядків поверхонь, що примикають до першого рядка.

Вісь інструменту задана **По нормалі до ОП** (пізніше змінимо цю установку). Детальніше розберемо вектор проекції. **Вектор проекції** в даному випадку не може бути фіксованим, як в попередньому прикладі, оскільки необхідно обробити замкнуту поверхню з усіх боків.

Найкращий результат дає значення **У напрямку до тієї, що управляє** (рис. 5.19).

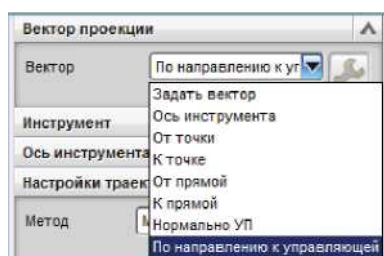


Рисунок 5.19 - Вектор проекції із задано «У напрямку до тієї, що управляє»

Що управляє (УП) і оброблювана поверхні (ОП) в даному випадку співпадають. Опція **У напрямку до тієї, що управляє** схожа на **Нормально УП**, тобто проектування здійснюється по нормалі до поверхні в точці контакту, але проектування йде без урахування інших граней моделі (як би з невеликої відстані), що зазвичай дає кращий результат.

Оскільки використовується інструмент з радіусом, великим радіусу скруглення пера (заради підвищення продуктивності), то з області обробки виключаємо області пера лопатки, що примикають до радіусу. Теоретично необхідно виключити області шириною, рівною радіусу інструменту, але оскільки обробка різних областей зазвичай здійснюється з перекриттям, цю ширину можна задати

приблизно. Найпростіше це зробити, задавши область через **Відсоток поверхні**, в даному випадку задана обробка від 10% до 90%.

У цій операції застосований шаблон ZIG, щоб різання на кожному витку здійснювалося в один бік. Для замкнутих поверхонь так зазвичай і робиться. На кожному проході(витку) задано підведення і відведення по дузі, перехід між проходами заданий згладженим рухом. Небажано, щоб інструмент переривав контакт з матеріалом при обробці. Розглянемо наступну операцію - VARIABLE_CONTOUR_ZIG2. Вона відрізняється тільки допоміжними переміщеннями (параметрами без різання). Урізування по дузі задане тільки для першого проходу (рис. 5.20) - в групі **Початкове (1)**, для відкритої області урізування пригнічене (2).

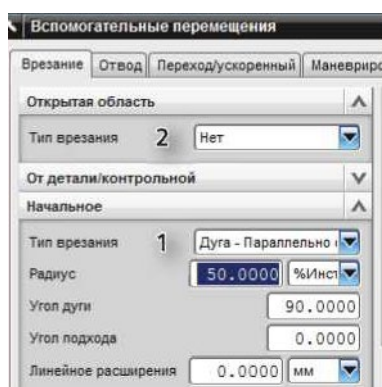


Рисунок 5.20 - Врізання за дугою завдано тільки для першого проходу

Перехід заданий **Прямо**, в результаті перехід між проходами здійснюється по поверхні (3 на рис. 5.21). Проте і в цьому випадку є недоліки, наприклад може залишатися риска на поверхні.

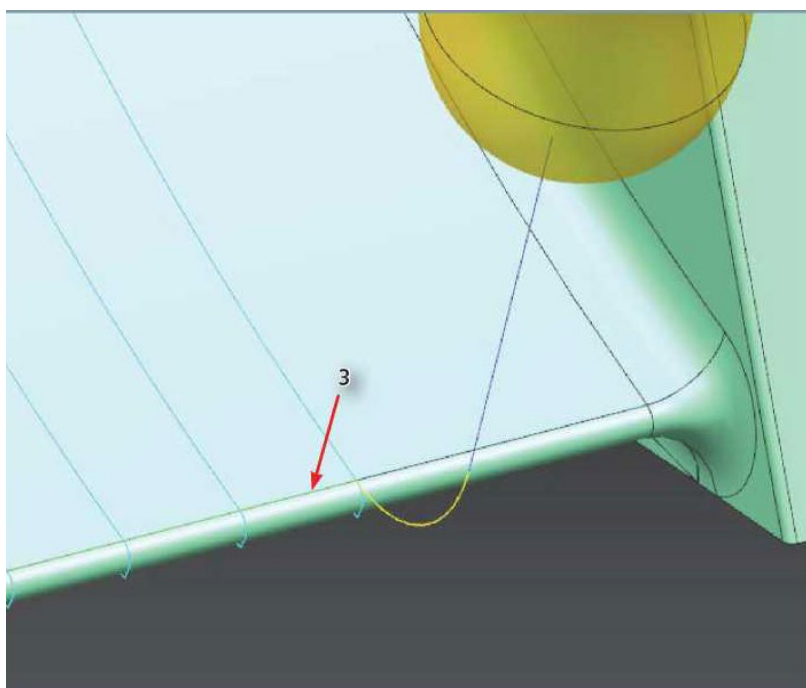


Рисунок 5.21 - Переход між проходами виконується за поверхнею

Найкращий результат дає гвинтовий (спіральний) шаблон (рис. 5.22).

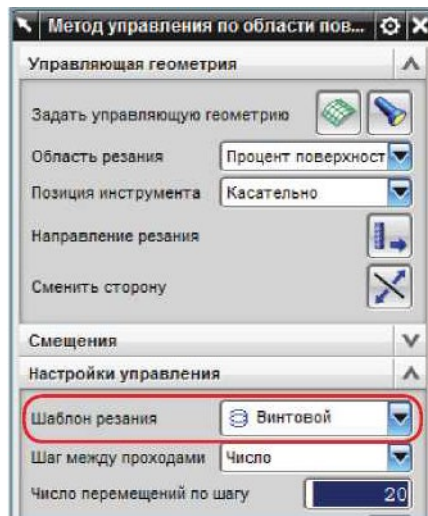


Рисунок 5.22 – Гвинтовой (спіральний) шаблон найбільш затребуваний при обробці лопаток

Траєкторія VARIABLE_CONTOUR_SPIRAL показана на рис. 5.23, модель дана в каркасному виді для наочності.

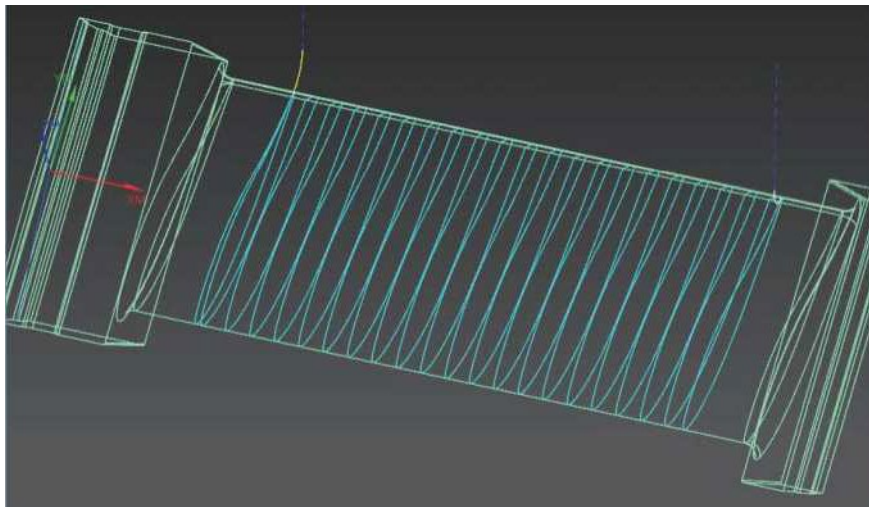


Рисунок 5.23 - Траєкторія обробки лопатки, створеної спіральним шаблоном

Іншим завданням при обробці лопаток є обробка радіусу скруглення пера і хвостовика. Для цього використовується та ж операція. Виберіть операцію VARCONTOUR_FILLET і виконайте її верифікацію (рис. 5.24).

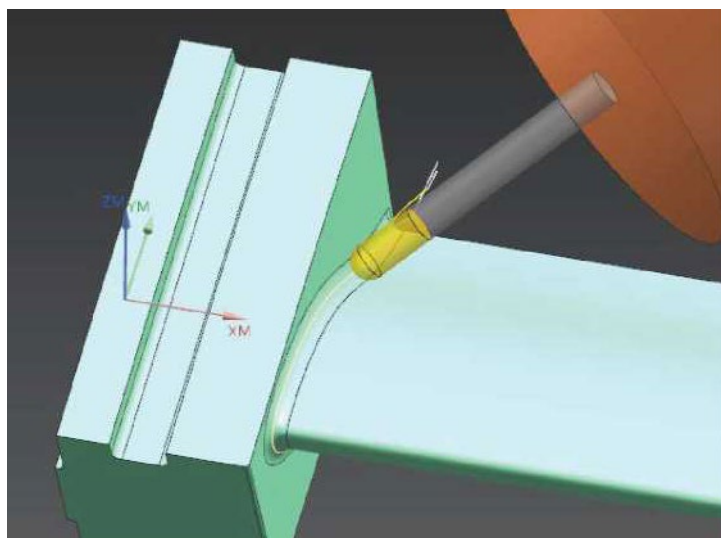


Рисунок 5.24 - Операція обробки округлення пера та хвостовика лопатки

Відкрийте діалогове вікно операції. Основні відмінності від попереднього випадку полягають в тому, що при завданні **Відсотка поверхні Початковий і Кінцевий прохід** рівний 50% (1), **Число переміщень по кроку** дорівнює 0 (2). **Вісь інструменту** задана просто **По нормалі до УП**, зменшити або збільшити кут можна, просто змінивши значення поверхні (рис. 5.25), що утворює при завданні відсотка. Спробуйте 50% і 70%.

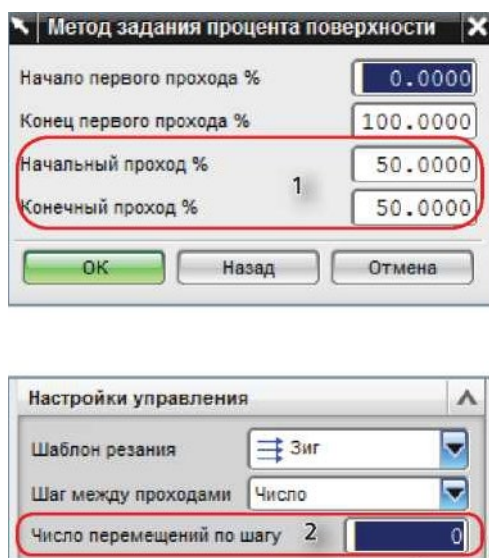


Рисунок 5.25 - Установки відсотку поверхні, які дають один прохід

Зовнішні поверхні, що управляють У ряді випадків оброблювані поверхні, що управляють, не співпадають. Поверхні (УП), що управляють, **створюються спеціально для завдання шаблону різання і орієнтації інструменту. Краще всього це проілюструвати на прикладі лопатки.**

У нашому прикладі включите шар 5, допоміжні поверхні цього шару (рис. 5.26) використовуватимемо як керівники.

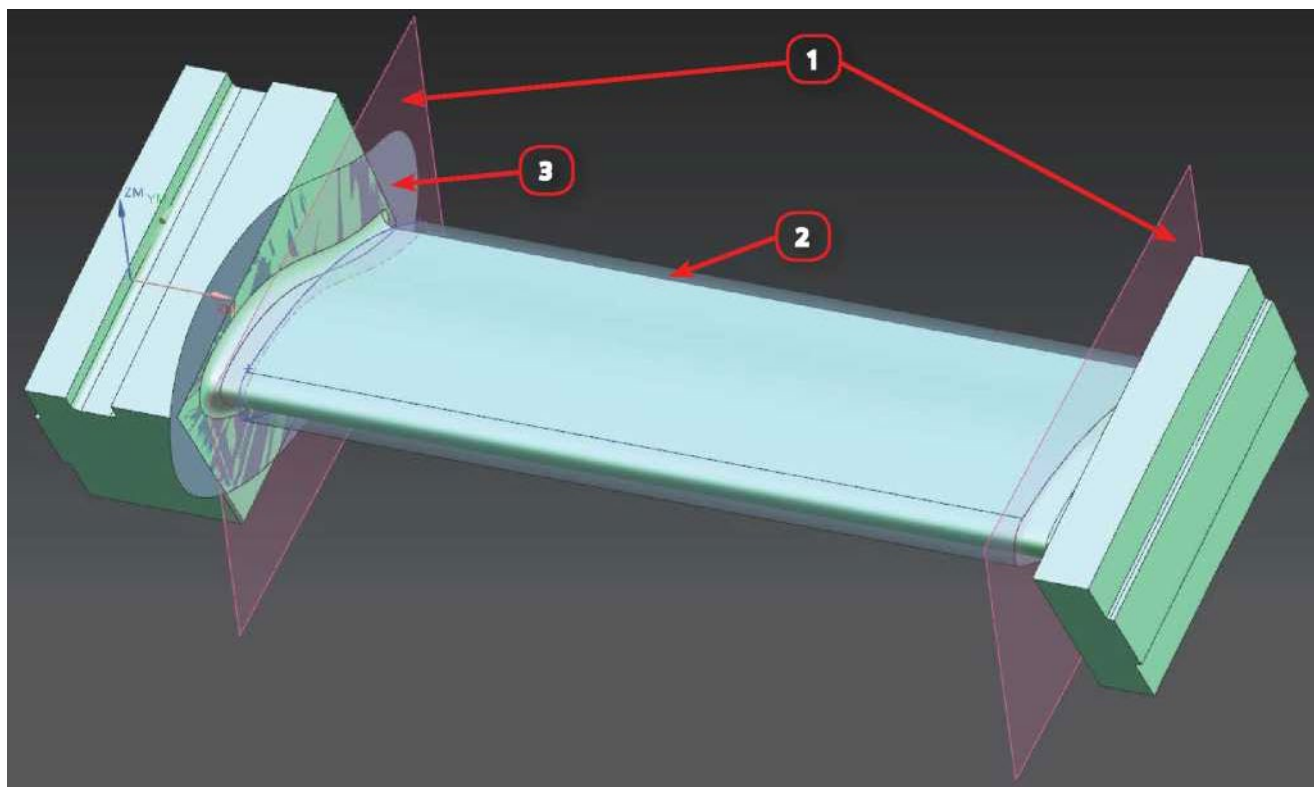


Рисунок 5.26 - Допоміжні поверхні, котрі використовуються як керуючі

Дамо деякі пояснення по їх створенню. Спочатку створені дві координатні площини (1), віддалені від кінців пера лопатки на величину радіусу інструменту, який використовуватимемо для попередньої обробки (зазвичай цей радіус більше радіусу скруглення пера і хвостовика). Далі отримані перерізи координатних площин і пера лопатки. Потім по одній з координатних площин створений ескіз, і в нім побудований новий спрощений переріз (в даному випадку воно складається з 4 зв'язаних дуг), потім цей переріз витягнутий до іншої координатної площини. Використання такої поверхні (2), що управляє, дає істотно якіснішу траєкторію, якщо початкове перо містить хвилі, негладкості або дефекти побудови, що викликають різкі коливання нормалі, тобто і осі інструменту, яка зазвичай з цією нормаллю пов'язана (особливо актуально це при роботі з імпортованою з інших систем геометрією). Другий плюс від використання такої поверхні полягає у відсутності підбору початкового і кінцевого проходів при завданні області обробки через відсоток поверхні (тепер можна працювати від 0 до 100%). Третій плюс пов'язаний з точністю розрахунку, і обгинання кромek більшого радіусу дає кращий результат, ніж для кромek малого радіусу пера лопатки. Ще плюс - можливість використання фрез, що округляють (не кульових), які продуктивніші, але чутливіші до якості поверхні, що управляє. Однопрохідний варіант траєкторії показаний на рис. 5.28.

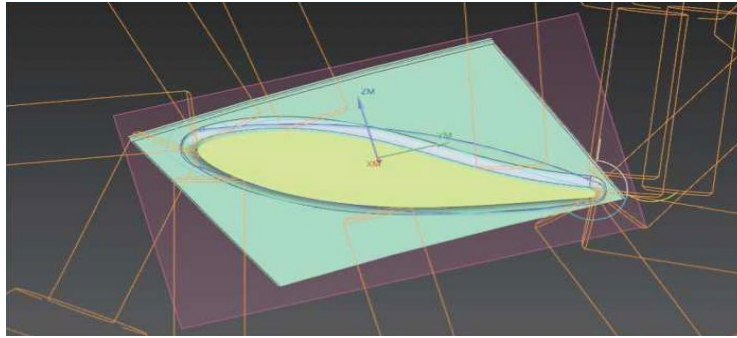


Рисунок 5.28 - Використання кінцевих фрез для обробки лопатки можливе при використанні кута випередження інструменту

У прикладі вона збережена під ім'ям VARIABLE_CONTOUR_SINGLE - DRIVE. У операції використана збірна фреза зі змінними пластинами, яка працює з кутом випередження 20° .

Поверхня 3 на рис. 5.26 використовується для обробки торця хвостовика.

Вона побудована на основі загального ребра скруглення і торця хвостовика шляхом зміщення цієї кривої по грані. По двох кривих створена нова поверхня. Траєкторія показана на рис. 5.29, діалогове вікно операції - на рис. 5.30.

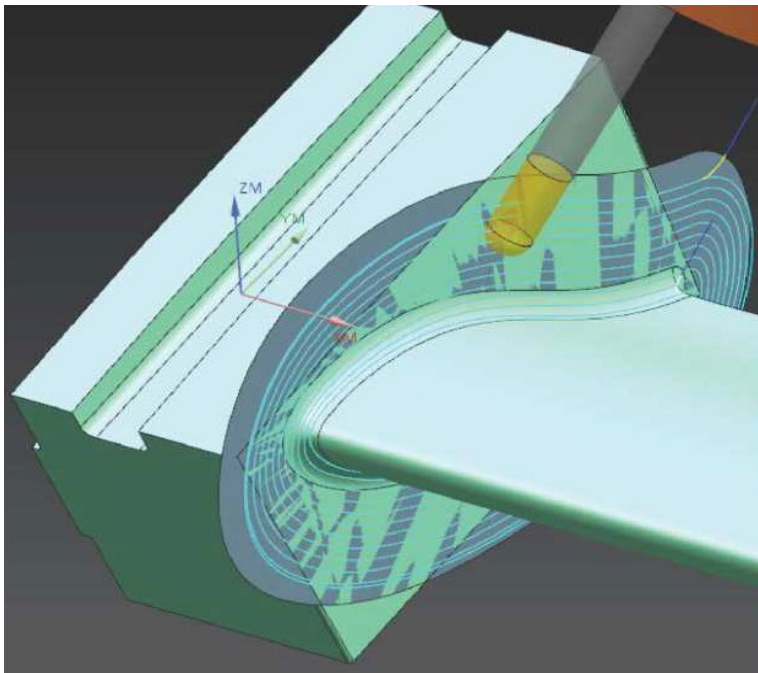


Рисунок 5.29 - Керуюча поверхня для обробки хвостовика

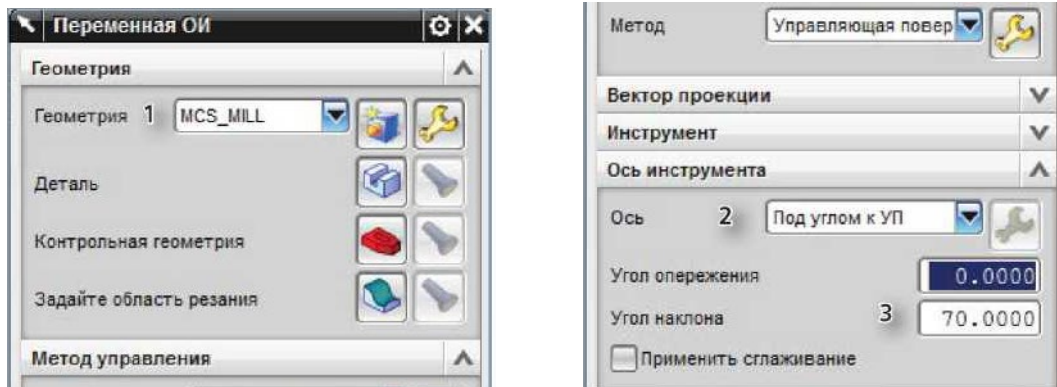


Рисунок 5.30 - Оброблюєма геометрія на завдан, щоби виключити проєцирування шаблога обробки

Зверніть увагу, що батьківською геометричною групою (1) є MCS_MILL (а не WORKPIECE, як в інших операціях) і не горить ліхтарик біля команди **Деталь**.

Це зроблено для того, щоб виключити проєктування на деталь, у нас не скрізь можливе проєктування при використанні такої УП.

Шаблон різання не проєктується і співпадає з траєкторією. Частина рухів інструменту здійснюється по повітрю, але траєкторія дуже гладка, що у більшості випадків прийнятніше.

Орієнтація осі інструменту - під кутом до УП, кут нахилу осі інструменту відносно нормалі - 70° . Операція в прикладі збережена з ім'ям VARCONTOUR_ONLY_DRIVE.

Операція 5-осьова уздовж потоку - VARIABLE_STREAMLINE Відкрийте приклад varstream_setup_1.prt. Необхідно виконати чистову обробку стінок криволінійного каналу (рис. 5.31).

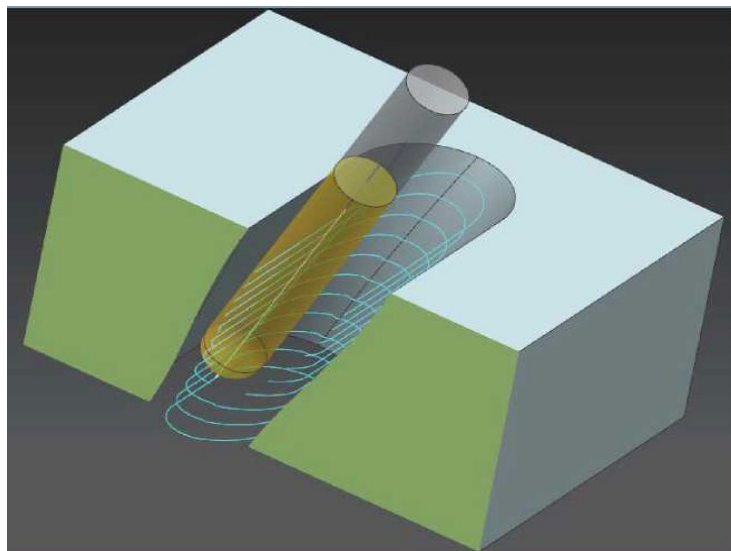


Рисунок 5.31 - Чистова обробка стінок криволінійного каналу

У прикладі є три операції з різними параметрами.

Виберіть операцію VARSTREAMLINE_ONLY_STREAM, відкрийте діалогове вікно операції (рис. 5.32).

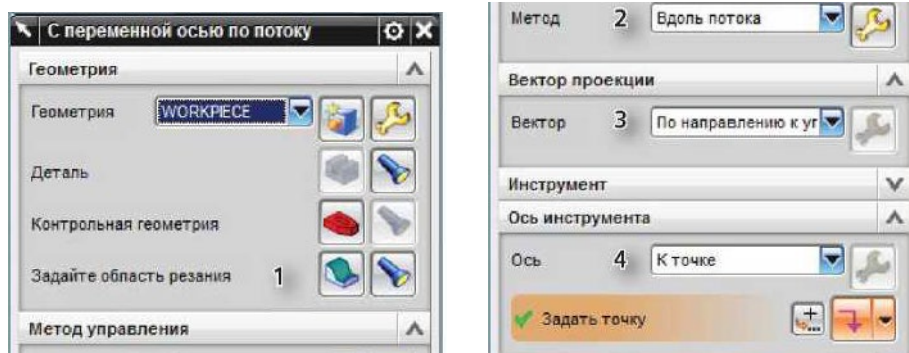


Рисунок 5.32 - Діалогове вікно операції VARIABLE_STREAMLINE

У ній задана область різання (1) шляхом вибору усіх граней каналу, **Метод управління - Уздовж потоку (2)**. **Вектор проєкції - У напрямку до керуючої (3)**.

Вісь інструменту задана значенням **До точки (4)**.

При такій орієнтації вісь інструменту завжди дивиться в задану точку. Координати точки доводиться підбирати для можливості доступу інструменту до оброблюваних поверхонь.

Усі три операції схожі, відмінності полягають в параметрах методу управління.

У цій операції криві потоку визначені автоматично по області різання.

Відкрийте діалогове вікно параметрів методу управління.

У графічній області буде відображений **Шаблон управління** (рис. 5.33), шаблон заданий двома кривими потоку.

Траєкторія в цьому випадку не зовсім гладка, оскільки шаблон не прилягає до оброблюваних поверхонь.

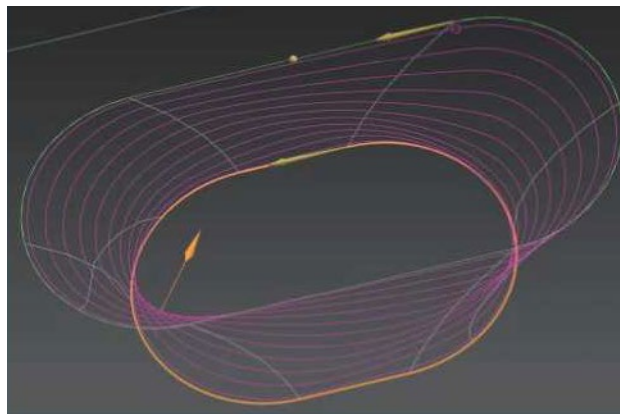


Рисунок 5.33 - Шаблон керування тільки за кривими потоку

Траєкторію можна істотно поліпшити, задавши криві поперечних перерізів. Це і зроблено в операції VARSTREAMLINE_WITH_CROSS, шаблон управління показаний на рис. 5.34.

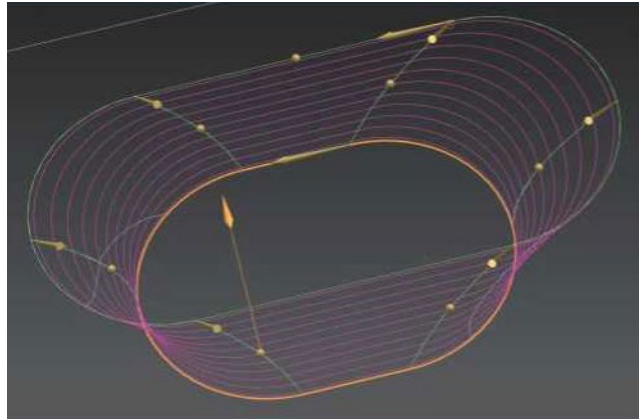


Рисунок 5.34 - Шаблон керування з використанням кривих потоку та поперечного каркасу

З малюнка видно, що, окрім двох кривих потоку, задані 6 поперечних кривих (видно по наявності маркерів), що забезпечило краще прилягання шаблону до поверхні.

У діалоговому вікні параметрів методу управління усі ці криві відображені у відповідних списках. Управління ними аналогічно 3-осьовій операції STREAMLINE.

Операція VARSTREAMLINE_SPIRAL використовує спіральний шаблон різання, що в даному випадку дає найкращий результат.

Обробка лопатки(продовження) Операція VARIABLE_STREAMLINE може використовуватися і для обробки лопаток, часто її використання навіть прийнятніше, оскільки простіше в управлінні. Відкрийте вже знайомий нам приклад blade_setup_1.prt. У операції STREAMLINE_BLADE_NOBALL застосовані лінії потоку, як на рис. 5.35.

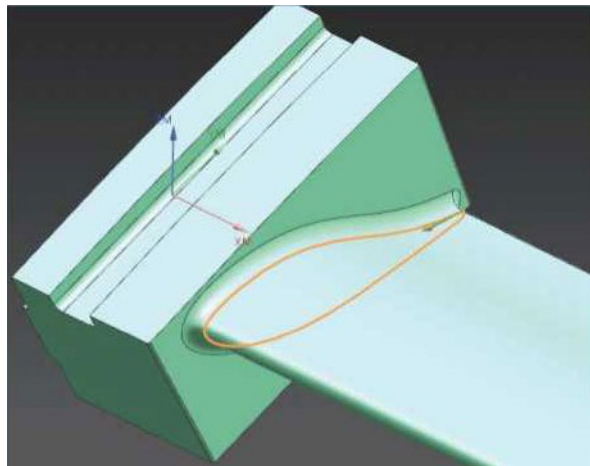


Рисунок 5.35 - Лінії потоку можна використовувати замість керуючих поверхонь

Ця операція дозволила використати некульовий інструмент без додаткових побудов (рис. 5.36).

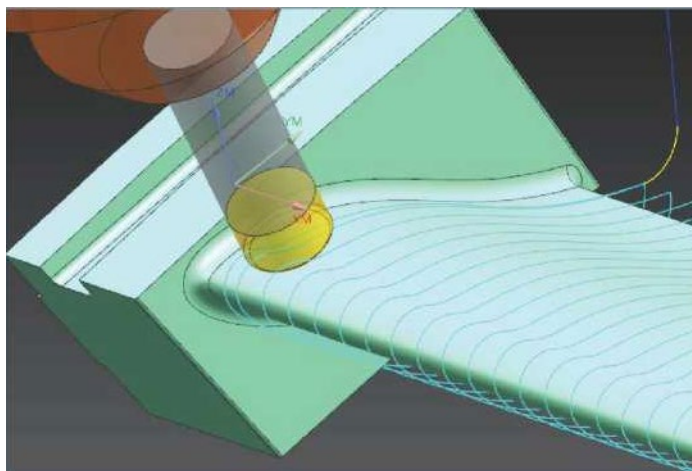


Рисунок 5.36 - Траєкторія обробки лопатки на основі операції VARIABLE_STREAMLINE

І нарешті, обробка торця хвостовика може виконуватися по двох кривих, заданих як криві потоку (рис. 5.37), що також не вимагає створення поверхні, що управляє.

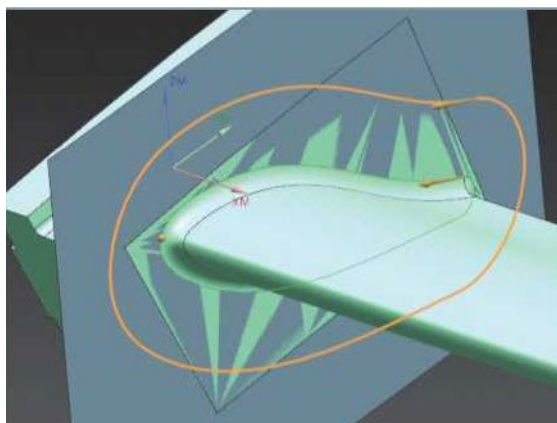


Рисунок 5.37 - Обробка торця хвостовика за двома кривими, що задані як криві потоку

Також важливо, що операції VARIABLE_CONTOUR і VARIABLE_STREAMLINE використовують різні розрахункові алгоритми, це дозволяє вибрати кращий результат в тому або іншому випадку.

Управління поданням і змінний кут випередження

Розглянемо ще дві корисні можливості, використовувані при обробці лопаток. Це використання різного подання на поверхні лопатки і на її кромках, що дає істотне зростання продуктивності за рахунок швидшого обгинання кромки. Також в NX є спеціальний спосіб завдання орієнтації осі інструменту - **Оптимізація по УП**, що дозволяє використати високопродуктивні торові фрези великого діаметру навіть на лопатках великої кривизни. При цьому менший кут випередження дає кращу шорсткість поверхні, але можливе урізування задньою частиною фрези. При цьому способі витримується проміжок в задній частині інструменту за рахунок змінного кута випередження. Ця опція окремо ліцензується. Для ілюстрації сказаного потрібний приклад лопатки з великою кривизною.

Відкрийте приклад blade2.prt (рис. 5.38).

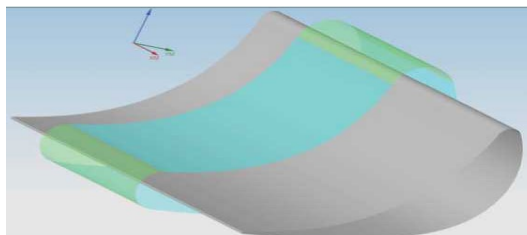


Рисунок 5.38 - Керуюча геометрія для управління поданням на кромках лопатки

Тут є оброблювана геометрія (показана сірим) і геометрія (показана блакитним і зеленим кольорами), що управляє. Щоб мати можливість задати індивідуальні подання різним частинам геометрії, що управляє, потрібно, щоб вони сприймалися різними гранями (поверхнями). У NX це можливо, потрібно тільки, щоб ці грані утворювали як би рядки (були суміжними і мали погоджену внутрішню структуру).

Відкрийте діалогове вікно операції VARIABLE_CONTOUR і, далі, діалогове вікно завдання геометрії (рис. 5.39), що управляє. Тут все задано, розберемо порядок дій.

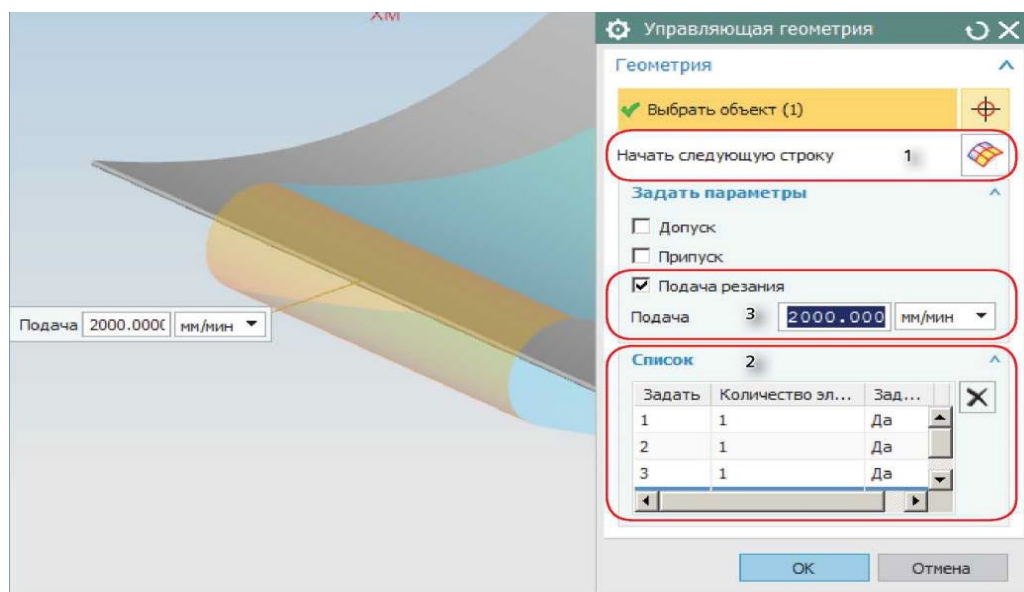


Рисунок 5.39 - Для різних граней керуючої геометрії можливе завдання окремої подачі

При завданні геометрії, що управляє, послідовно вказуються суміжні грані. Геометрія, що управляє, може містити декілька рядів суміжних граней, тоді при переході до наступного ряду потрібно виконати команду **Почати наступний рядок (1)**. У разі одного ряду це не потрібно. Геометрія, що управляє, організовується в список (2), для кожного елемента списку можна задати свій припуск (тут нам не актуально) і подання (3). Якщо ця можливість використовується, то подання, пов'язане з конкретною поверхнею, що управляє, відображається і в графічній області.

Закрийте діалогове вікно операції.

Відкрийте діалогове вікно операції VARIABLE_CONTOUR_VAR_LEAD, тут вісь інструменту

задана параметром **Оптимізація по УП**.

Виконайте команду **Змінити** - ключик поряд зі значенням параметра орієнтації осі інструменту. З'явиться нове діалогове вікно (рис. 5.40).

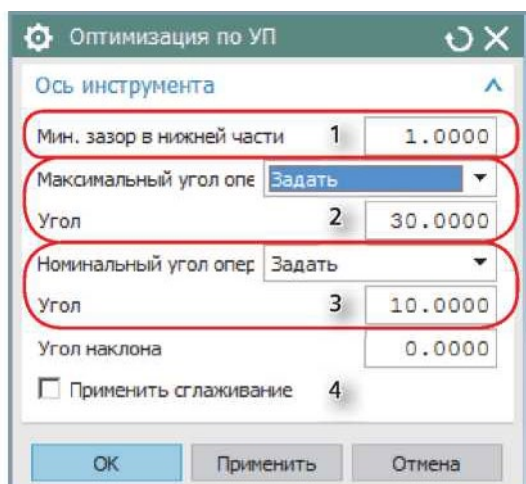


Рисунок 5.40 - Параметр осі інструменту «Оптимізація по УП» для використання змінного кута випередження

Основний параметр **Хв. Проміжок в нижній частині інструменту (1)**. На рис. 5.41 показаний інструмент в одній з точок траєкторії, значення цього параметра показане стрілкою. Окрім цього, можна задати **Максимальний (2)** і **Номінальний кути випередження (3)**. Спочатку замість значення **Задати** використовуйте **Немає**, тоді значення кутів не просяться і система при розрахунку має максимум свободи. Кути можна задати явно при необхідності. Параметр **Застосувати згладжування (4)** дає кращу якість траєкторії, проте він доступний не для всякого поєднання параметрів.

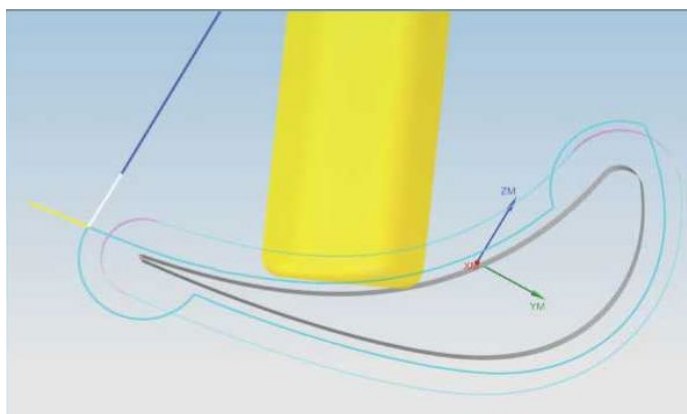


Рисунок 5.41 - Параметр «Мін. Проміжок» в нижній частині інструменту також корисно застосовувати при використанні некульових фрез

Тема 6 Розробка технологічної операції 5-осьової безперервної обробки в NXCAM (продовження)

Операція Профіль по контуру - CONTOUR_PROFILE

Ця операція в основному призначена для обробки похилих стінок, що представляють лінійчасті поверхні, бічною стороною інструменту. Одна з тих, що утворюють лінійчасті поверхні - пряма лінія, саме в цьому напрямі можливе позиціонування інструменту бічною стороною уздовж поверхні. Це операція з високим рівнем автоматизації. Досить задати дно кишені, і система автоматично знаходить стінки і позиціонує по них інструмент, причому вісь інструменту забезпечує плавний перехід між стінками, розташованими під кутом один до одного. Є і інші режими роботи цієї операції. Відкрийте приклад ifd_var_case1_setip_1.prt. Виберіть операцію CONTOUR_PROFILE1, операція буде відображена (рис. 6.1).

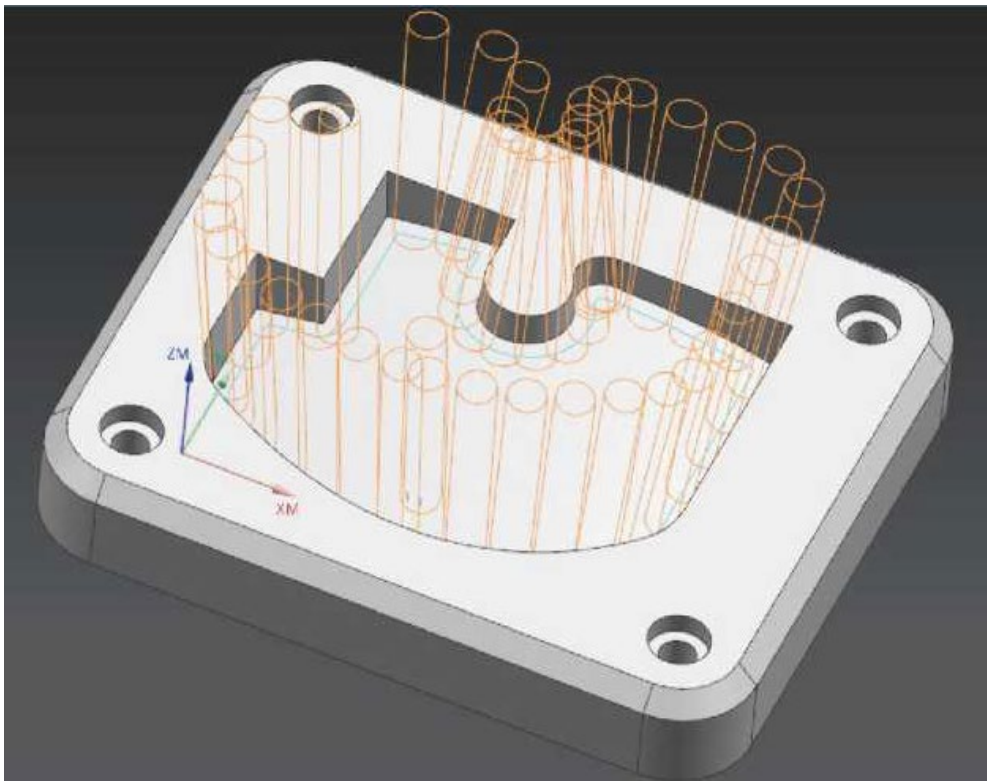


Рисунок 6.1 - Приклад деталі, де також актуально використання операції CONTOUR_PROFILE

Зверніть увагу, що дно кишені в даному випадку не плоске. У операції також включено відображення інструменту для наочності, і видно, що інструмент позиційовано уздовж стінок. Двічі клацніть по операції. Відкриється діалогове вікно операції (рис. 6.2).

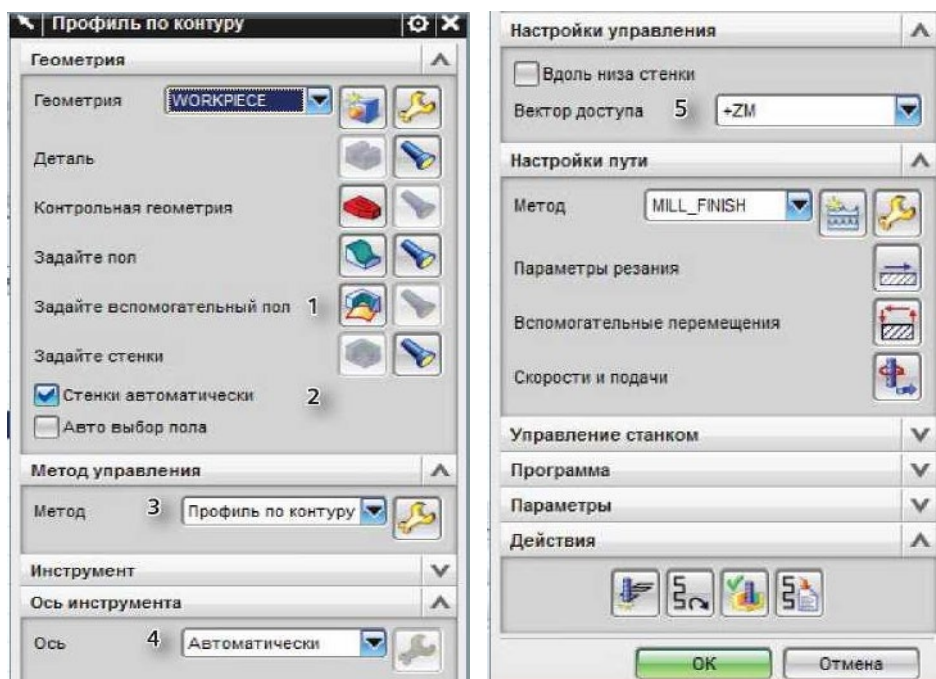


Рисунок 6.2 - Диалогове вікно операції CONTOUR_PROFILE

У операції заданий тільки **Пол (1)**, при включеному прапорі **Стінки автоматично (2)** можна відразу генерувати операцію.

Метод управління заданий як **Профіль по контуру (3)**, і є команда доступу до параметрів методу управління, **Вісь інструменту (4)** - **Автоматично**, **Вектор доступу (5)** заданий як +ZM.

Часто взагалі немає необхідності змінювати ці установки. Проте можливість внесення змін буває дуже корисна в складних випадках. Тепер розглянемо варіанти операції. Створіть копію операції і в копії вимкнете прапор **Стінки автоматично**. Задайте стінки явно, як показано на рис. 6.3.

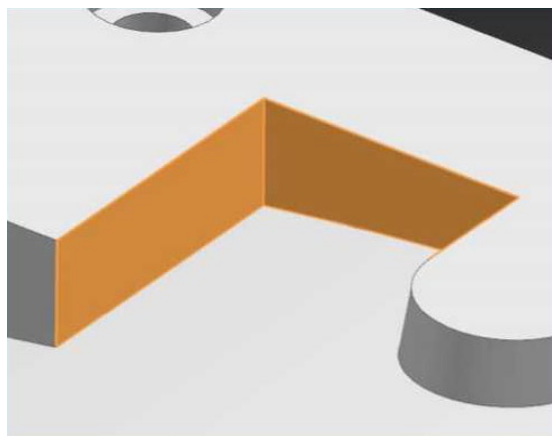


Рисунок 6.3 - Варіант завдання стінок явно в операції CONTOUR_PROFILE

Згенеруйте операцію, результат показаний на рис. 6.4.

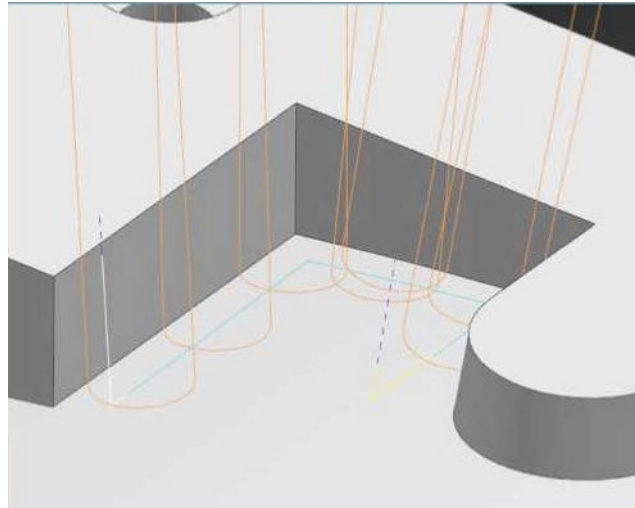


Рисунок 6.4 - Результируюча траєкторія при виборі стінок як на рисунці 6.3

Операція може бути багатопрохідною. Знову створіть копію операції. Управління проходами знаходиться в **Параметрах різання** на окремій вкладці (рис. 6.5).

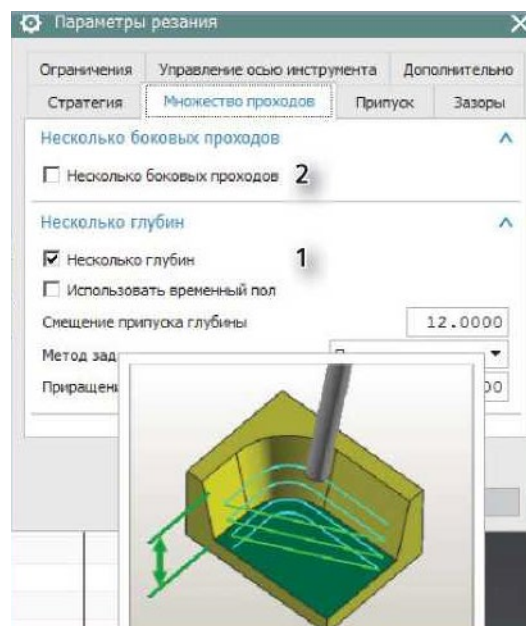


Рисунок 6.5 - Керування проходами знаходиться в «Параметрах різання - Безліч проходів»

Можливі як проходи по глибині (1), так і бічні проходи (2). У копії задайте параметри як на малюнку і згенеруйте операцію. Результат показаний на рис. 6.6.

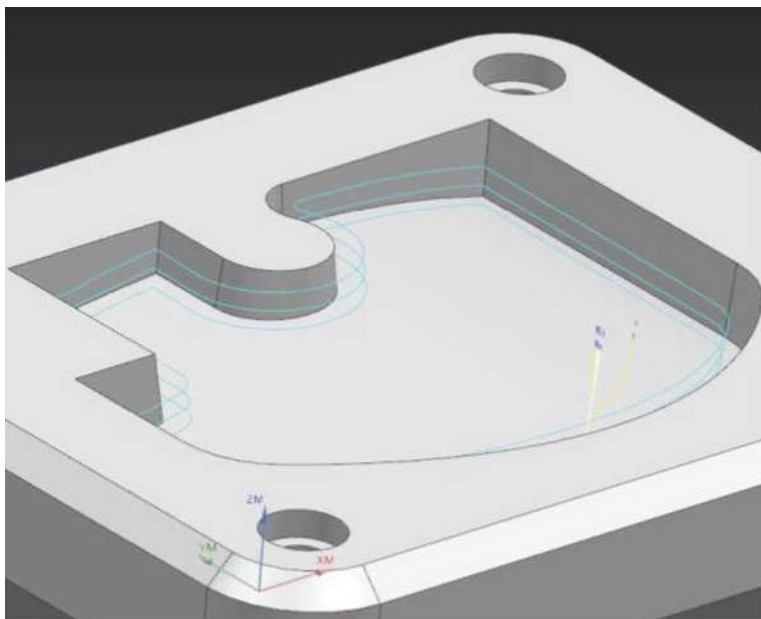


Рисунок 6.6 - Многопроходный вариант операции CONTOUR_PROFILE

Серед параметрів різання (рис. 6.7) є **Кут нахилу** осі інструменту від стінки (3), що корисно при виконанні чистового проходу уздовж низу стінки при роботі поблизу високих стінок.

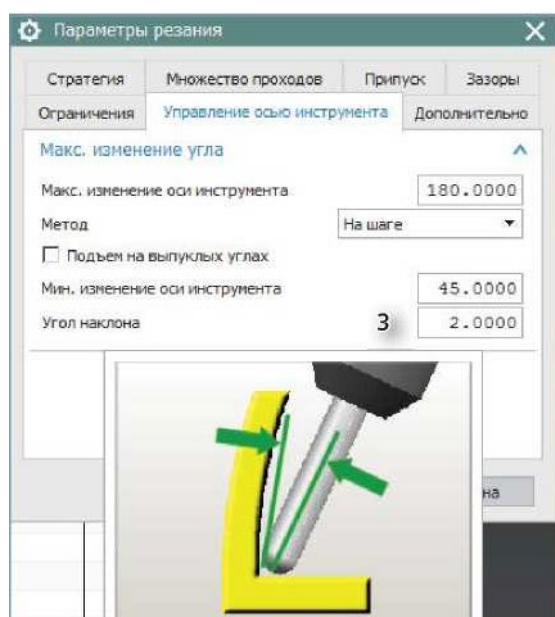


Рисунок 6.7 - Розташування параметру «Кут нахилу осі» інструменту від стінки

Параметри **Допоміжні переміщення** (Переміщення без різання) нам в основному вже знайомі. Відмітимо, що для 5-осьових контурних операцій є значно більше можливостей за призначенням урізувань і відводів (рис. 6.8). Наприклад, можливі 4 варіанти завдання урізування по дузі.

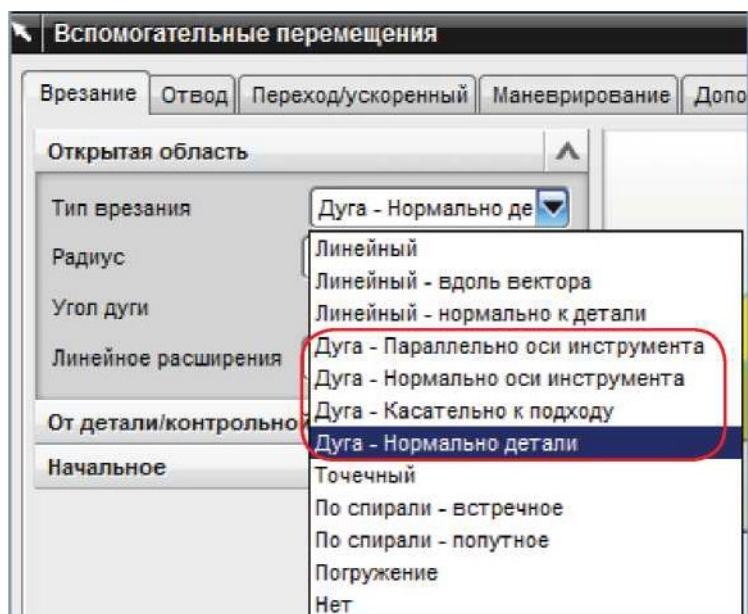


Рисунок 6.8 - Різні варіанти врізання в діалоговому вікні допоміжних переміщень

Згадаємо і можливість використання конічного інструменту в операції. Такий інструмент досить часто використовується для обробки похилих стінок. Знову створіть копію першої операції і в копії перевизначте інструмент на конічний. Згенеруйте операцію і виконайте її верифікацію (рис. 6.9).

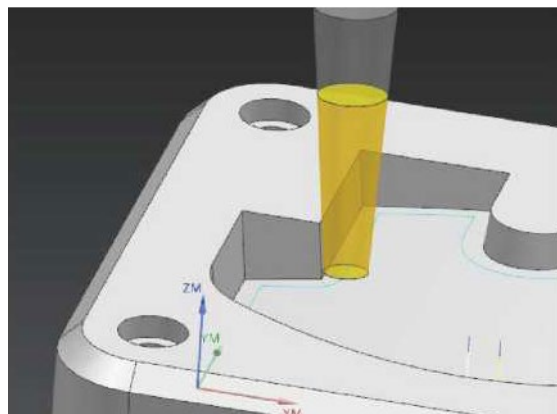


Рисунок 6.9 - Операція підтримує конічний інструмент

Операція помітно розвивається з виходом нових версій NX. Наприклад, тепер вона дозволяє відновлювати робочі ходи траєкторії для стінок з вирізами або стінок різної висоти.

Відкрийте приклад `cont_prof_gaps_setup_1.prt`. У ній є операція `WALL_GAP - CUT`, це операція **Профіль по контуру**. Виберіть її. Попутно помітимо, що в операції **Пол** не заданий, обробляються тільки стінки. У методі управління з'явилися додаткові параметри, що входять до групи **Крізь проміжки стінок** (рис. 6.10) : тип переміщення і мінімальна відстань, на якій дозволено це переміщення.

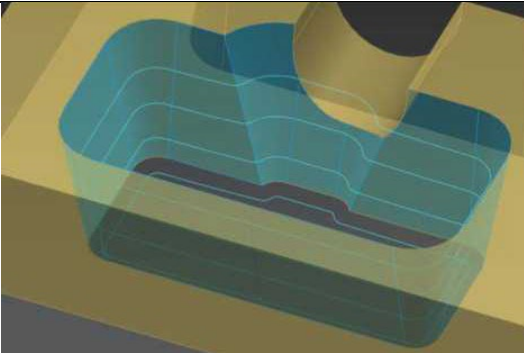
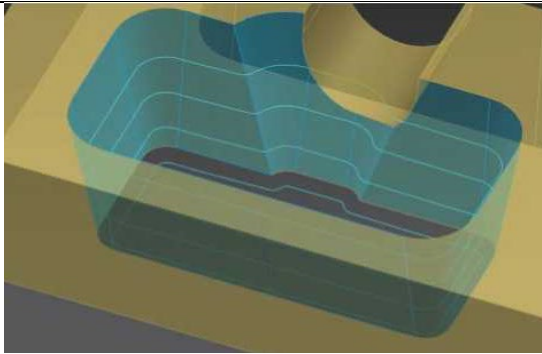
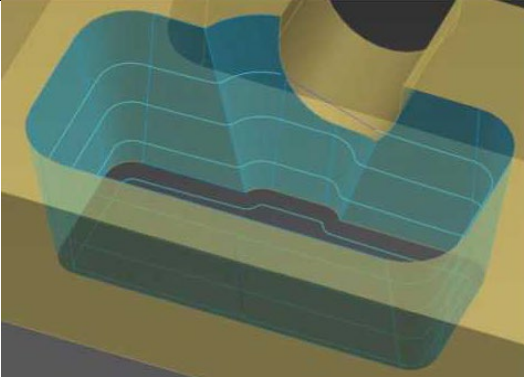
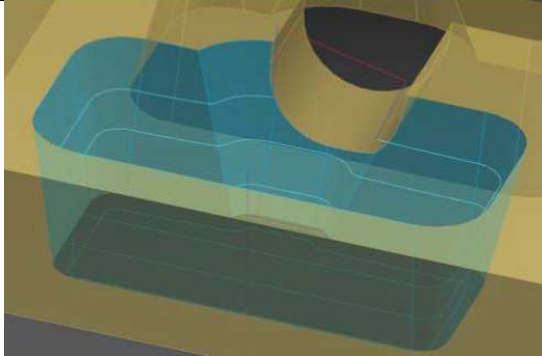


Рисунок 6.10 - Параметр «Крізь проміжки стінок» відновлює прохід там, де стінки немає

Тип переміщення в цій операції встановлений в значення **Обробка**, що дозволяє відновити робітник хід інструменту на ділянці, де стінка відсутня (1, таблиця. 6.1).

Друге значення цього параметра – **Крок** (тобто тип руху буде Крок, для цього типу руху можна застосувати інше подання). Залежно від установок **Допоміжні переміщення (Рухів без різання) - Перехід** і параметра **Мінімальна відстань** рух на ділянці, де стінка відсутня, може виконуватися як робоче, але на іншому поданні - показано зеленим (2, таблиця. 6.1), або по прямій, або на висоті безпеки. Ці випадки також показані в таблиці.

Таблиця 6.1 - Віди завдання параметру «Крізь проміжки стінок»

	
1.Крізь проміжки стінок - обробка	2.Крізь проміжки стінок - крок
	
3.Крізь проміжки стінок - крок, перехід - по прямій	4.Крізь проміжки стінок - крок, перехід - на висоті безпеки

Створіть три копії операції і відтворіть описані траєкторії.

Альтернативно можна відкрити приклад cont_prof_gaps_setup_1fin.prt, де ці траєкторії створені.

Для явного завдання точок початку і кінця проходів використовується команда завдання параметрів методу управління.

Знову створіть копію першої операції і в копії виконаєте команду завдання параметрів методу управління.

З'явиться діалогове вікно методу управління.

У цьому діалоговому вікні встановите положення **Початкової (1)** і **Кінцевої точки (2)** в значення **що Задається користувачем** (рис. 6.11) і задайте точки початку і кінця різа, як показано.

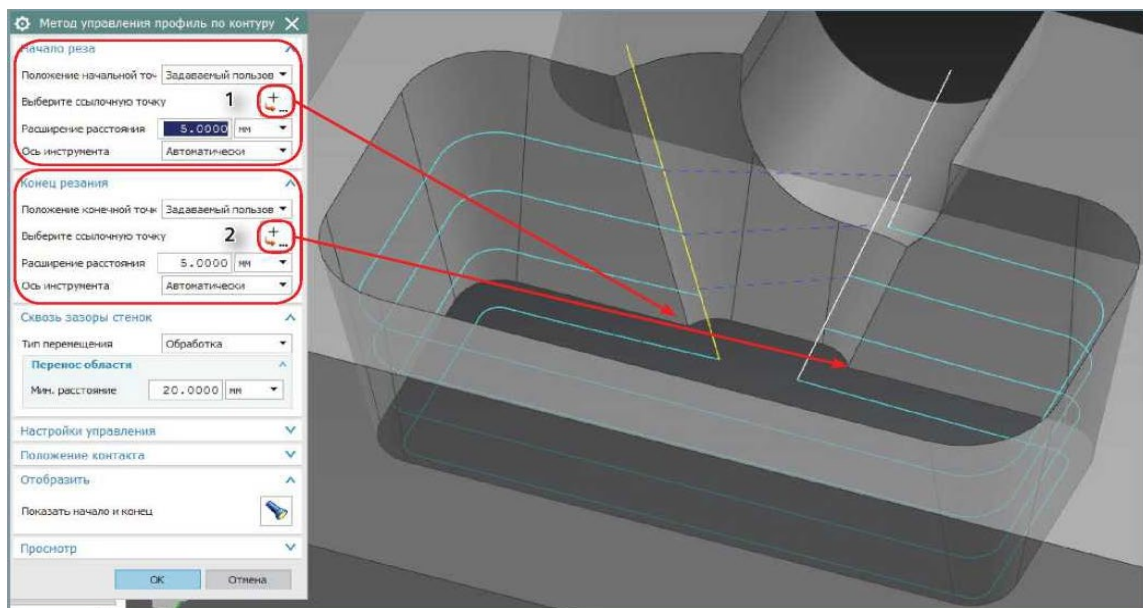


Рисунок 6.11 - Варіант операції з явним завданням початкової та кінцевої точок

Задайте параметр **Розширення відстані** для обох випадків = 5 мм (можна спочатку згенерувати операцію для нульового розширення, щоб наочно побачити дію цього параметра).

Натисніть **ОКИ** і згенеруйте операцію, результат показаний на цьому ж малюнку. Управління точкою підходу до замкнутого контуру в цій операції аналогічно 3-осьовим операціям.

Це забезпечується установкою параметра **Початок області** в значення **Середня точка** (рис. 6.12), який знаходиться в діалоговому вікні **Допоміжні переміщення - Точки початку/свердління**. При цьому нічого вказувати не потрібно. Точку можна вказати явно, використовуючи параметр **Завдання точки (2)**. При обробці декількох кишень в одній операції можна сформувати список точок (3); якщо їх можливо застосувати, система їх застосовує, якщо ні, то ігнорує.

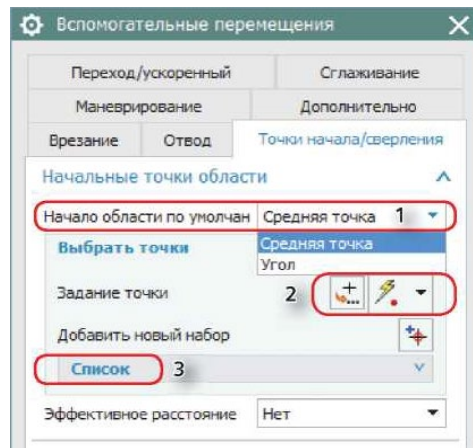


Рисунок 6.12 - Параметр «Початок області» задає точку підходу до контуру

Продовжуємо працювати з попереднім прикладом. У операції START_POINT_MIDDLE точка підходу до контуру розташована на середині щонайдовшої сторони (рис. 6.13).

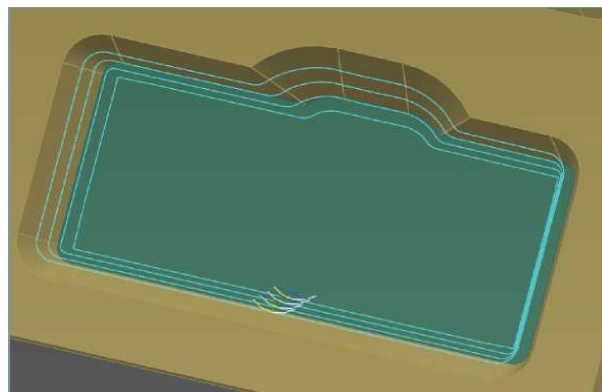


Рисунок 6.13 - Варіант операції, де точка підходу до контуру розташована на середині самої довгої сторони

Створіть копію операції і в копії змініте параметр **Початок області** в значення **Кут**. Згенеруйте операцію. NX додасть рух урізування/відведення в одному з опуклих кутів (рис. 6.14).

Якщо кутів декілька і потрібно використати інший кут, то явно вкажіть точку потрібного кута. Розберемо ще приклад обробки опуклої поверхні операцією **Профіль по контуру**. У цій операції є спеціальний параметр для зміщення точки контакту по осі інструменту. Його використання дозволяє значно зменшити число проходів в траєкторії при однакових вимогах по допуску.

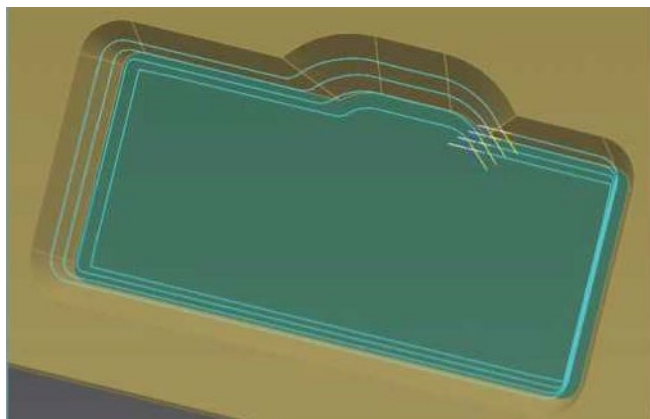


Рисунок 6.14 - Варіант операції, де точка підходу до контуру розташована на випуклому куті

Відкрийте приклад `cont_ring_height.prt` (рис. 6.15). У ній є траєкторія обробки стінок, що примикають до западини.

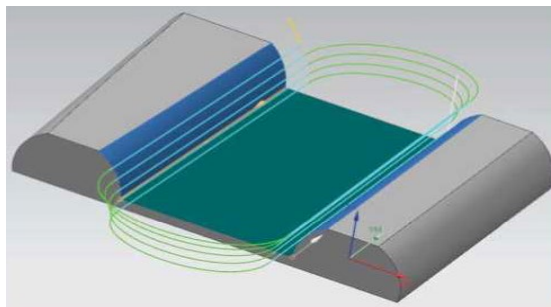


Рисунок 6.15 - Приклад, ілюструючий зміщення точки контакту за віссю інструменту

Умовно вважатимемо цю модель ділянкою зубчастої рейки. Якщо розміри зубів великі, то можливо їх обробляти звичайним інструментом безліччю проходів бічною стороною фрези.

Виконайте верифікацію наявної операції зі зніманням матеріалу.

Як можна бачити, на поверхні залишається досить великий гребінець. Зробіть копію операції, в ній відкрийте діалогове вікно методу управління. Параметр **Висота кільця** заданий значенням **Немає** (рис. 6.16).

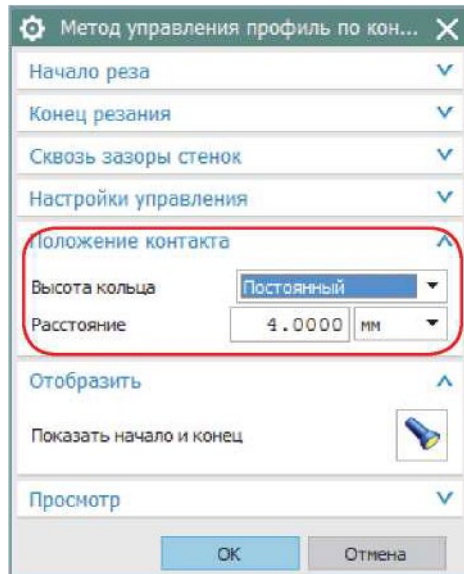


Рисунок 6.16 - Розташування параметру, який задає зміщення точки контакту

Рисунок 6.17 показує положення точки контакту : а - немає зміщення; б - зміщення 4 мм; у - зміщення задане, але при наближенні до дна не виконується.

Задайте значення **Постійний** і рівний 4 мм, згенеруйте операцію. Виконайте верифікацію.

Величина гребінця при тому ж значенні проходів стала помітно менша за рахунок зміщення точки контакту інструменту з опуклою поверхнею.

Також звернете увагу, що при наближенні до дна зміщення зменшується аж до 0 для запобігання урізуванню в дно.

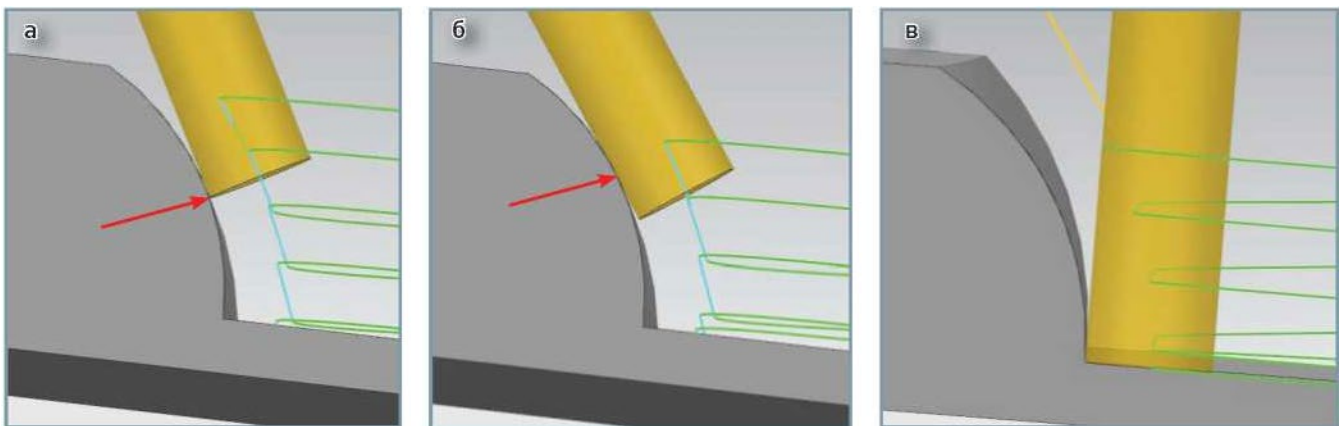


Рисунок 6.17 - Різні положення точки контакту

Параметр **Висота кільця** може бути задана як змінне зміщення, в цьому випадку визначається діапазон. Спробуйте задати його значеннями 1 і 4 мм. Цей режим може використовуватися для зменшення зносу інструменту за рахунок більше рівномірного його розподілу уздовж кромки.

Операція Контурна зі змінною ОИ - Інтерполяція вектору

У ряді випадків не вдається використати орієнтацію осі інструменту, задану яким-небудь одним способом для усієї області обробки. Одним з варіантів роботи у такому разі є ручне визначення осі

інструменту в заданих точках поверхні, що управляє. При цьому проміжні вектори інтерполюються. У діалоговому вікні операції подібна орієнтація інструменту називається

Інтерполяція вектору.

Відкрийте приклад `srf_area_11.prt`.

В даному прикладі необхідно обробити міжлопатевий простір між двома лопатками. Дно нашої області плоске, але не можна використати орієнтацію інструменту по нормалі до поверхні із-за нахилу лопаток. Для визначення області обробки використовуватимемо поверхню, що управляє, побудовану по ребрах радіусів скруглення лопаток (рис. 6.18).

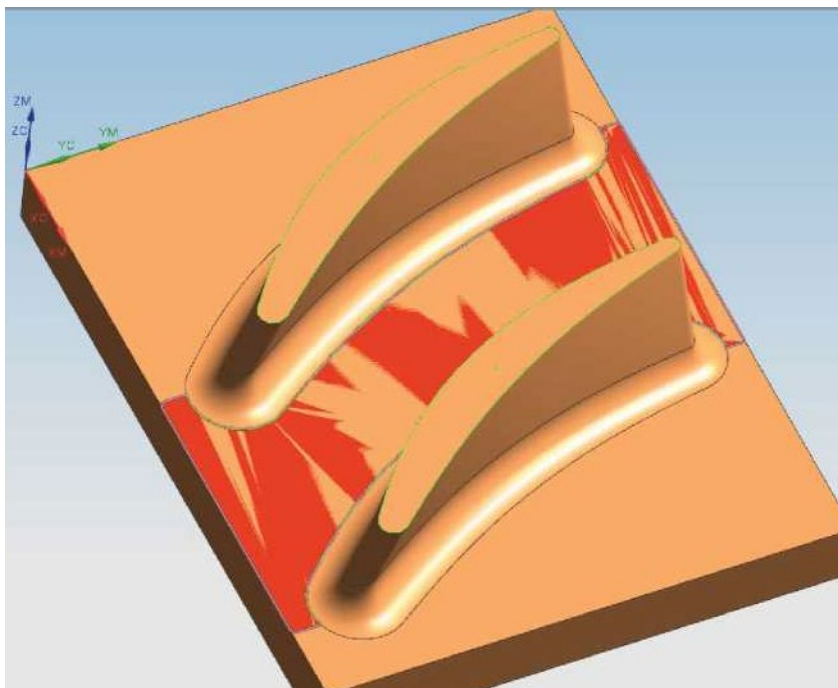


Рисунок 6.18 - Керуюча поверхня для обробки міжлопаточного простору

Відкрийте діалогове вікно операції `VARIABLE_CONTOUR_FLOOR`, переконайтеся, що **Орієнтація інструменту** задана значенням **Інтерполяція вектору**. Виконайте команду із зображенням ключика поряд з полем завдання орієнтації інструменту.

З'явиться нове діалогове вікно (рис. 6.19), в нім є **Список точок**, де явно задана орієнтація інструменту(1).

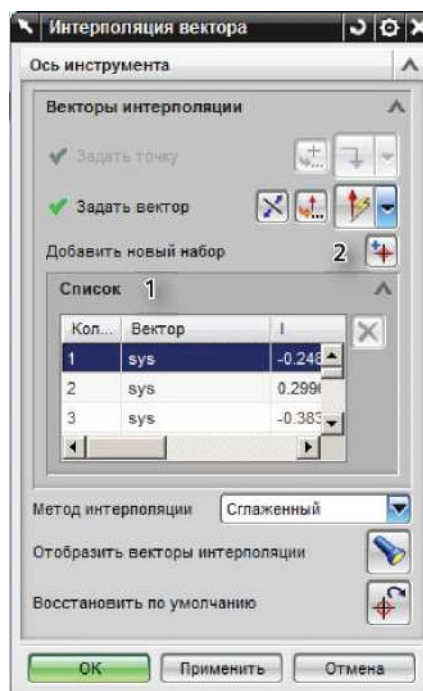


Рисунок 6.19 - Диалогове вікно для завдання орієнтації інструменту інтерполяцією вектору

У графічній області відображені усі задані вектори (рис. 6.20).

Якщо вибрати один з векторів, то в цій позиції відобразяться інструмент із заданою орієнтацією і система координат з маркерами, що дозволяють міняти вісь інструменту динамічно.

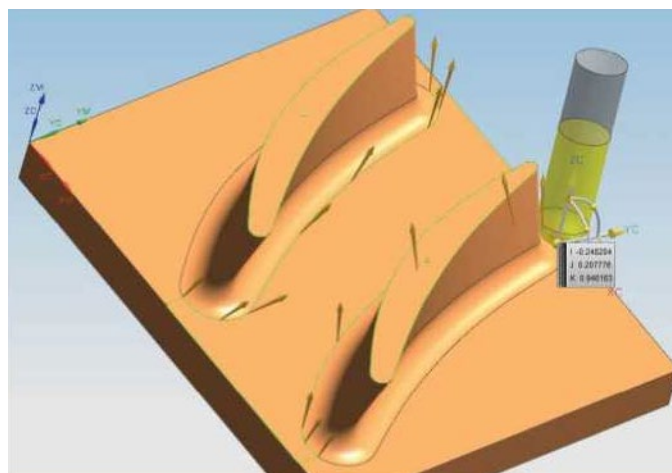


Рисунок 6.20 - Набор векторів для завдання орієнтації у вказаних точках

Можна додати новий вектор командою **Додати новий набір (2)** або видалити вектор. Втім, робота зі списком вже була розглянута раніше. Перегенеруйте операцію, в установках відображення задана візуалізація осі інструменту лініями. Результат показаний на рис. 6.21.

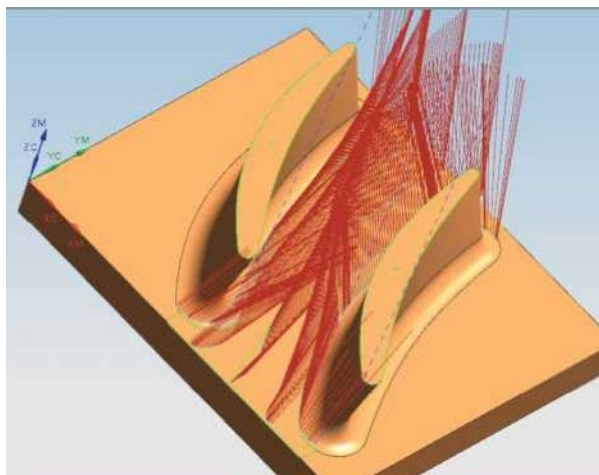


Рисунок 6.21 - Положення осі інструменту умовно показано в точках траєкторії

Операція 5-осьова по Z- рівням - ZLEVEL_5AXIS

Це особливий тип операції, де проходи виконуються по Z- рівням, але вісь інструменту може відхилятися від стінки, що корисно при роботі поблизу високих стінок. Така можливість дозволяє використати коротший, тобто жорсткіший і продуктивніший інструмент.

Відкрийте приклад `zl_multi_axis_2_setup_pav.prt`.

Деталь має скруглення малого радіусу, розташовані на високій стінці. Використовуватимемо область обробки, показану на рис. 6.22. 3-осева операція обробки по Z- рівням зажадала б використання довгого і тонкого інструмента. Використовуватимемо коротший інструмент і можливість автоматичного відхилення його осі від стінки.

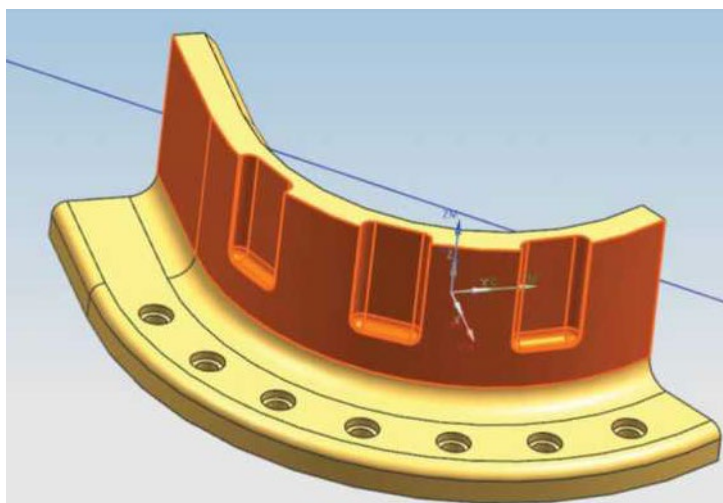


Рисунок 6.22 - Приклад для ілюстрації операції ZLEVEL_5AXIS

Відкрийте діалогове вікно операції ZLEVEL_5AXIS_AWAY_PART (рис. 6.23).

Параметри **Налаштування шляху (1)** аналогічні 3-осьовій операції обробки по Z- рівням. Специфіка операції полягає в завданні осі інструменту. У операції використовуються параметри: **Кут нахилу (2)**, **Максимальна висота стінки (3)**, **Напрямок нахилу (4)**, а також прапор **Контроль**

зіткнень (5). Кут нахилу можна задавати явно, але опція **Автоматично** цікавіша.

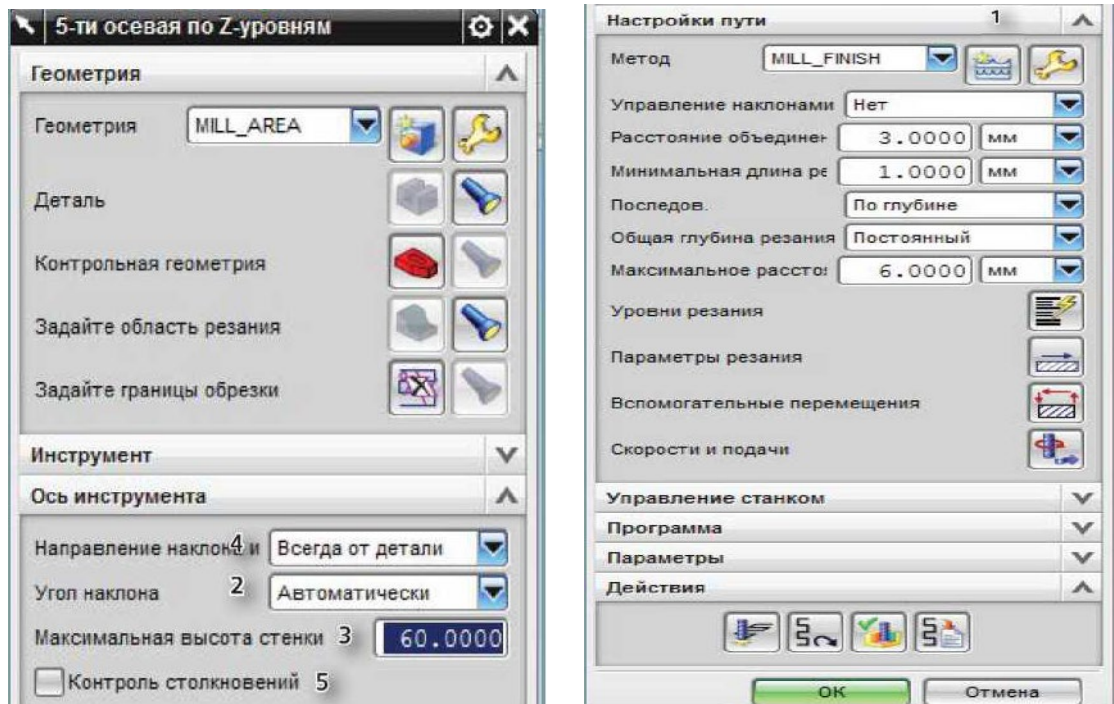


Рисунок 6.23 - Діалогове вікно операції ZLEVEL_5AXIS

Для автоматичного розрахунку кута необхідно, щоб були задані утримувач інструменту і максимальна висота стінки, тобто кут визначається, виходячи з геометрії утримувача (рис. 6.24).

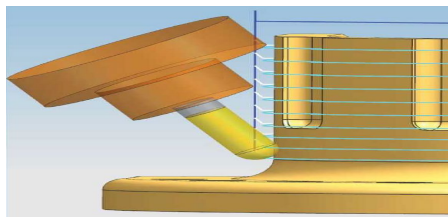


Рисунок 6.24 - Кут відхилення визначається, виходячи з геометрії державки

Напрямок нахилу розберемо детальніше. У цій операції **Напрямок нахилу** заданий **Завжди від деталі**, при цьому інструмент відхиляється від стінок деталі у відкриту область, в кутах він відхиляється від обох стінок (рис. 6.25). Це не завжди добре.

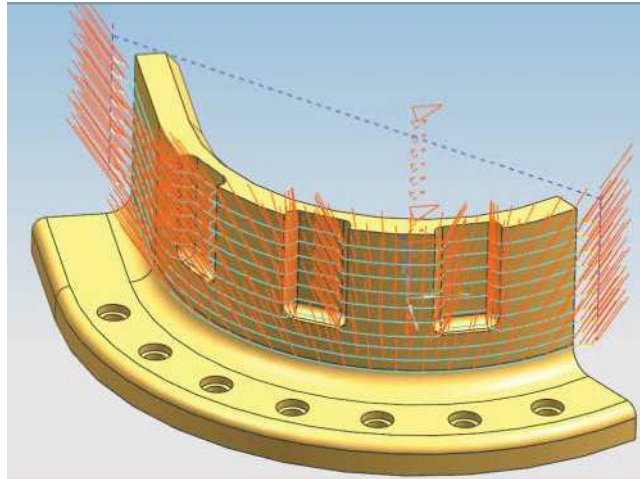


Рисунок 6.25 - Варіант операції, де напрям нахилу завдано «Завжди від деталі»

У операції ZLEVEL_5AXIS_AWAY_CURVES напрям нахилу заданий **Завжди від кривої** і в якості кривої задано ребро моделі (показано стрілкою на рис. 6.26). В цьому випадку вісь інструменту розташовується в площинах, перпендикулярних заданій кривій, і вже в цих площинах відлічується кут нахилу. Такий спосіб завдання напрямку нахилу краще позначається на динаміці роботи верстата, оскільки виключає непотрібні повороти робочих органів.

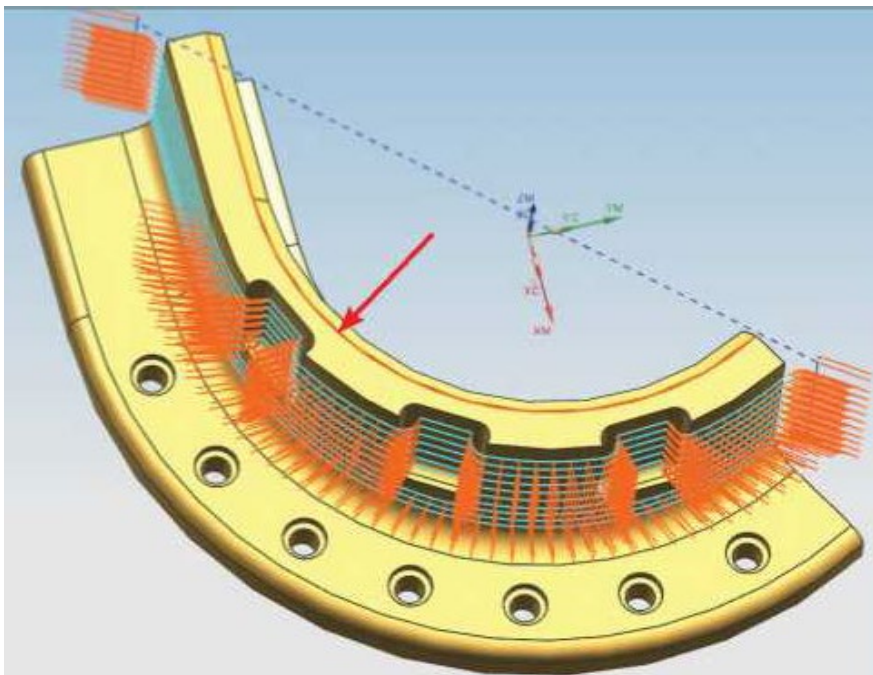


Рисунок 6.26 - Варіант операції, де напрям нахилу завдано «Завжди від кривої»

Це важко показати на малюнку, тому в цьому прикладі підключений верстат (рис. 6.27).

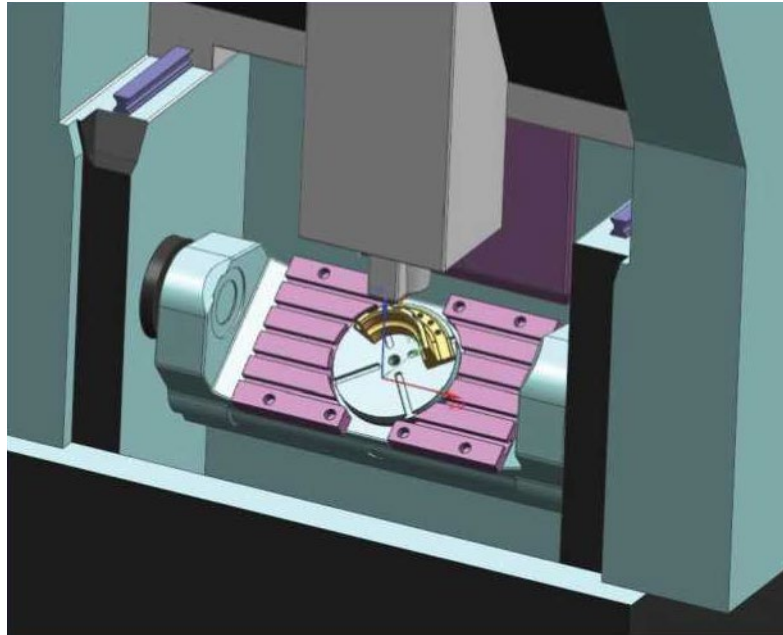


Рисунок 6.27 - Підключення верстату для симуляції траєкторії дозволяє краще поняти відміни в орієнтації інструменту

Включіть його відображення в навігаторові складання і виконайте по черзі симуляцію розглянутих вище операцій.

Операція Обробка циліндра - ROTARY_FLOOR Операція призначена для обробки деталей, що мають кишені з циліндричним дном або виступи на циліндричній поверхні. Команда операції має тип Mill_rotary (1), підтип доки єдиний - ROTARY_FLOOR (2, рис. 6.28). Відкрийте приклад cyl_part_finishing_1_setup_1.prt.

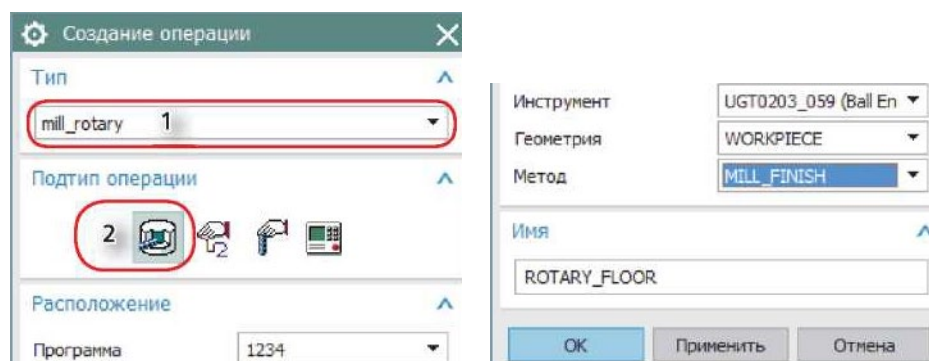


Рисунок 6.28 - Розташування команди операції ROTARY_FLOOR

Створіть операцію ROTARY_FLOOR з батьківськими об'єктами, як показано. З'явиться діалогове вікно операції (рис. 6.29).

По іконках геометричних груп видно, що операція працює з новими типами об'єктів: **Дно кишені (1)** і **Стінки кишені (2)**. Виконайте команду **Дно кишені** і вкажіть циліндричну поверхню деталі.

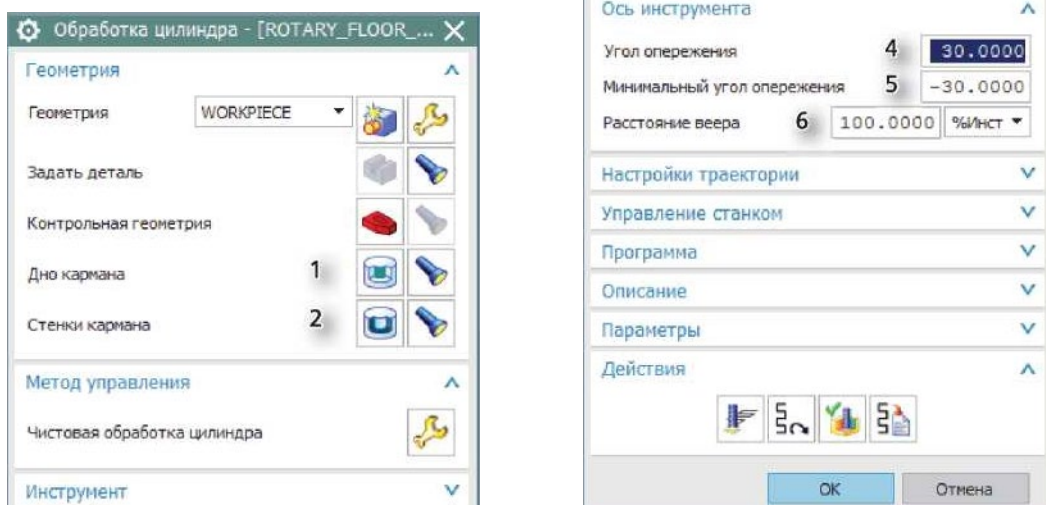


Рисунок 6.29 - Діалогове вікно операції ROTARY_FLOOR

Виконайте команду **Стінки кишені**, в новому діалоговому вікні (рис. 6.30) виконаєте команду **Попередній вибір (3)**.

Стінки виступів, що примикають до циліндричного дна, автоматично вибрані і підсвічуються в графічній області.

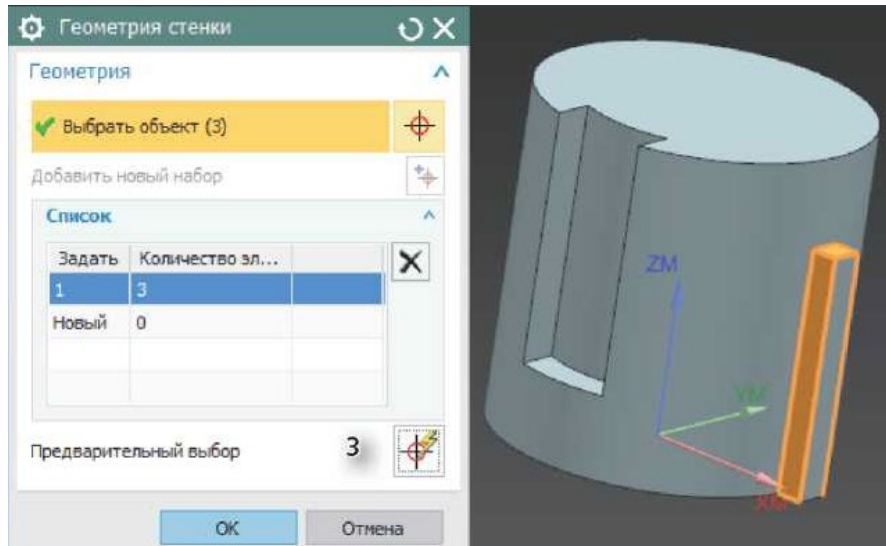


Рисунок 6.30 - Команда «Попередній вибір» автоматично розпізнає стінки на основі обраного дна

Родзинкою операції є використання кута випередження інструменту, де це можливо. При наближенні до стінок кут випередження міняється (аж до негативного, дозволене значення задається окремо) для максимального знімання матеріалу поблизу стінки (рис. 6.31). Напрямок руху показаний стрілкою. Параметри Кута випередження (4), Мінімального кута випередження (5) знаходяться в основному діалоговому вікні операції. Тут же знаходиться параметр Відстань віяла (6), що визначає

відстань до стінки, де кут випередження починає мінятися (послідовність положень осі інструменту на цій ділянці нагадує віяло, звідси цей термін). З точки зору різання кут випередження краще зберігати максимально довго, але з точки зору плавності роботи інструменту краще почати розворот інструменту заздалегідь. Тобто потрібний компроміс, тому і введена можливість управління цим параметром. Помітимо, що операція підтримує тільки сферичні фрези.

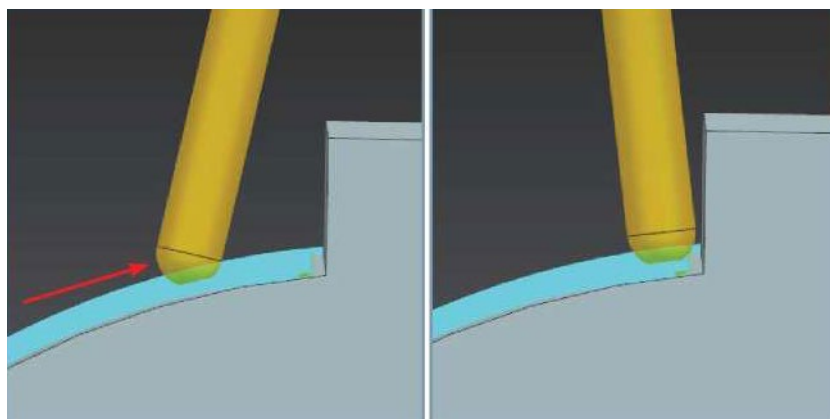


Рисунок 6.31 - При наближенні до стінок кут випередження змінюється

Інші параметри управління доступні в окремому діалоговому вікні методу управління (рис. 6.32).

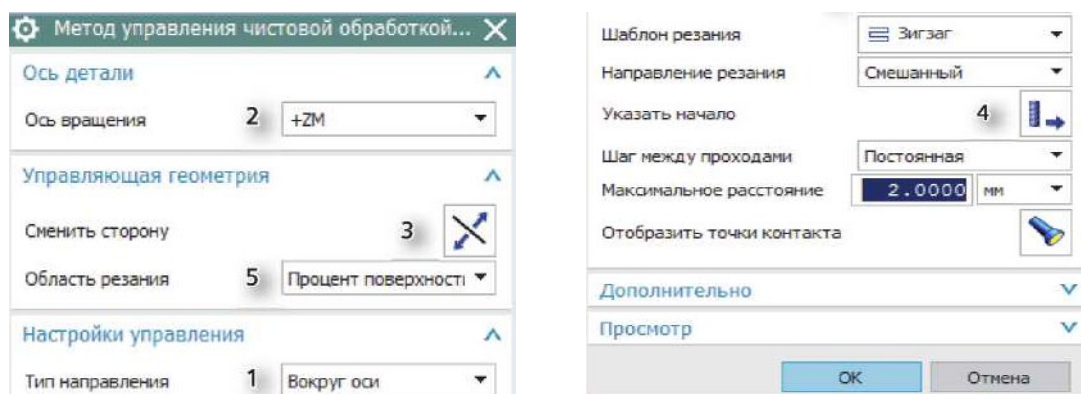


Рисунок 6.32 - Параметры, доступні в діалоговому вікні методу керування

Специфічний параметр **Тип напрямку (1)** може набувати два значення: **Навколо осі** і **Уздовж осі**. Також необхідно задати **Вісь обертання (2)** циліндра. Тут задаються шаблон різання, напрям різання, крок проходів (включаючи обчислення кроку за величиною гребінця). Параметри **Змінити сторону (3)**, **Вказати початок (4)**, **Область різання (5)** працюють з маркерами, як і в методі **поверхня, що Управляє**. В даному випадку вісь обертання +ZM нас влаштовує.

Задайте величину шагу, як показано, та генеруйте операцію, результат - на рис. 6.33.

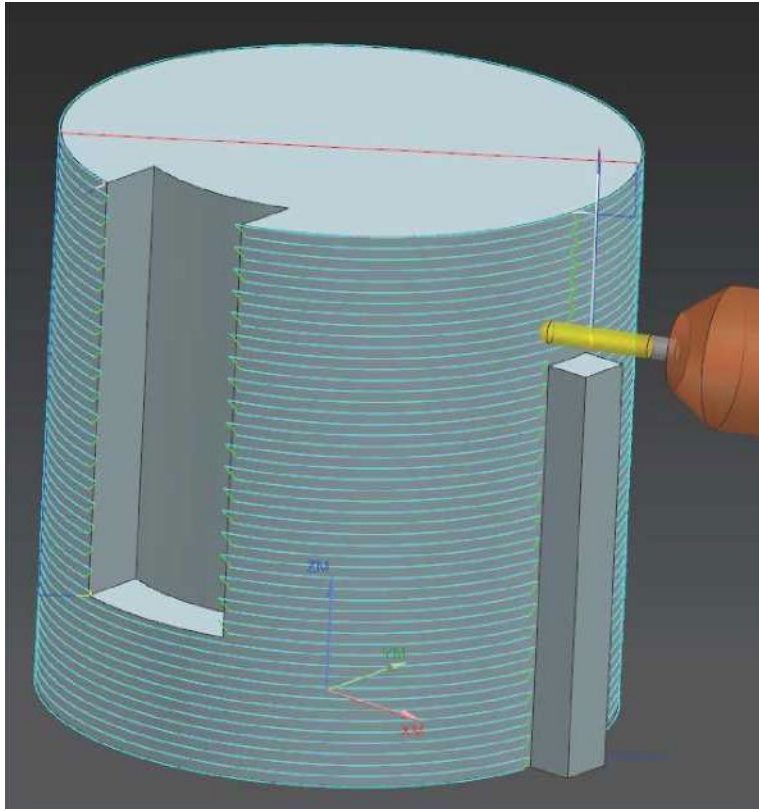


Рисунок 6.33 - Результуюча траєкторія обробки циліндру з врахуванням стінок

Функція відхилення осі інструменту для перетворення операцій

До 5-осьової безперервної обробки можна віднести і функціонал по перетворенню 3-осьових операцій в 5-осьові. Він використовується для автоматичного відхилення осі інструменту від стінки, виходячи з геометрії утримувача. Утримувач має бути обов'язково заданий. Ця команда викликається з контекстного меню операції. Застосуємо цю можливість для операції по доопрацюванню кутів FLOWCUT, ця операція буває тільки 3-осьовою.

У NX ця команда стала значно потужніша і може використовуватися і для обробки поднутрених в 5-осьовому режимі. Початкова траєкторія може бути 5-осьовою. Цю можливість також розглянемо тут. Відкрийте приклад `area_mill1_setup_2.prt`. Скопіюйте операцію FLOWCUT_SINGLE і перепризначуйте інструмент в копії на BALL_MILL_TILT. Генеруйте операцію.

З контекстного меню операції виконаєте **Траєкторія - Нахил осі інструменту** (рис. 6.34), в діалоговому вікні, що з'явилося, просто натисніть **ОК**. Детальніше це вікно ми розберемо в наступному прикладі.

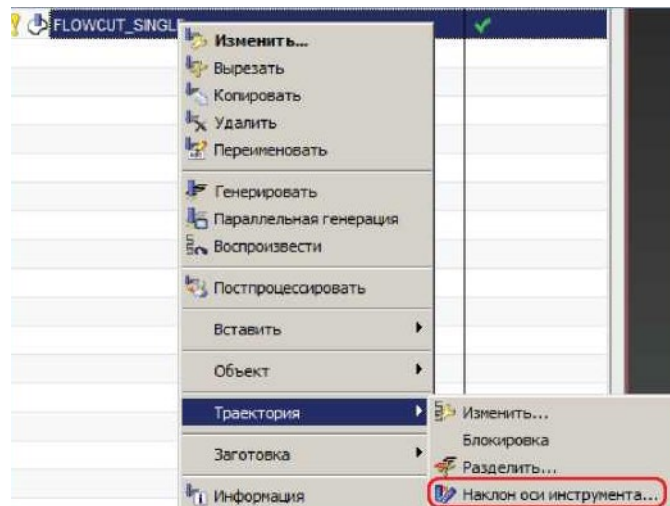


Рисунок 6.34 - Розташування команди «Нахил осі інструменту»

В результаті (рис. 6.35) інструмент буде відхилений від стінки тільки там, де це реально необхідно (тобто деякі рухи залишаться 3-осьовими). Така операція продуктивніша, оскільки тільки частина обробки виконується в 5-осьовому режимі (у 3-осьовому режимі поворотні осі верстата затиснуті, технологічна система жорсткіша, і тому допустимі більш продуктивні режими різання).

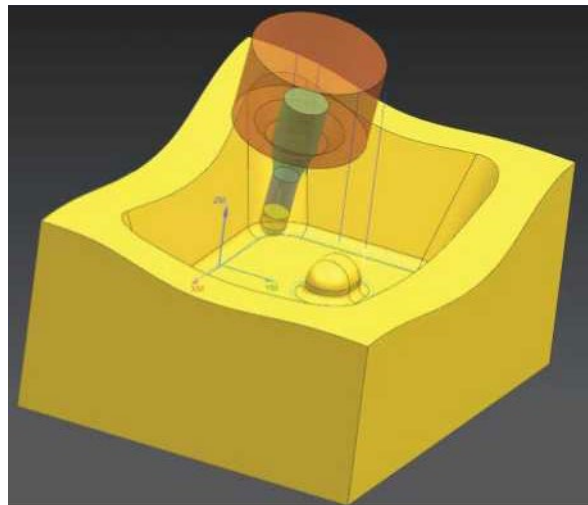


Рисунок 6.35 - У результаті інструмент буде відхилен від стінки тільки там, де це необхідно

Розглянемо складніший приклад tilt_cylinder_setup_1.prt (рис. 6.36).

У прикладі є операція VARIABLE_CONTOUR, в якій кут відхилення інструменту від стінки заданий, - 65 (чи від вертикалі 25°). Операція витримує цей кут постійним і при відхиленні від однієї стінки врізається в іншу (показано стрілкою на рис. 6.36). Звичайно, в даному випадку можна зменшити кут відхилення від вертикалі (чи збільшити відносно нормалі до поверхні, що теж саме), а можна дозволити системі змінити кут у проблемній області і витримати заданий кут скрізь, де це можливо.

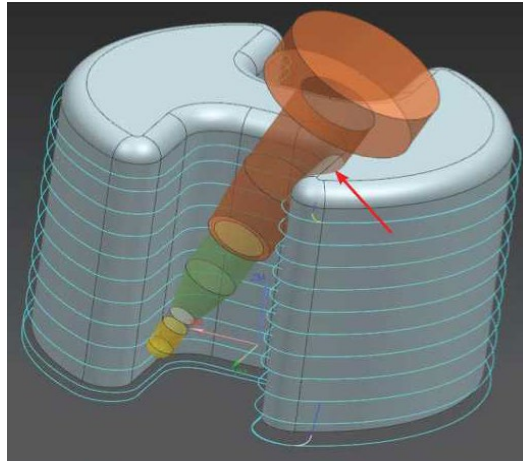


Рисунок 6.36 - Приклад зіткнення державки та деталі, яку необхідно усунути

З контекстного меню операції виконаєте команду **Траєкторія - Нахил осі інструменту**. З'явиться нове діалогове вікно (рис. 6.37).

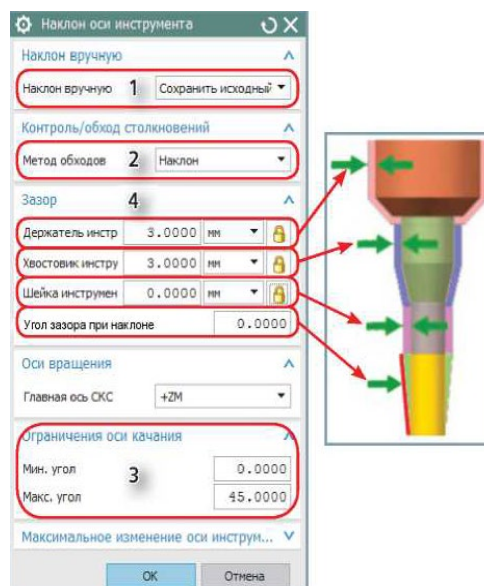


Рисунок 6.37 - Діалогове вікно команди «Нахил осі інструменту» при автоматичній орієнтації

Параметр **Нахил вручну (1)** може набувати два значення: **Зберегти початковий** і **такий, що Задається користувачем**. Значення **Зберегти початковий** зберігає початкові значення орієнтації інструменту там, де це можливо. Параметр **Метод обходів (2)** визначає дія для усунення зіткнення, він може набувати два значення: **нахил** (найбільш корисне) і **відведення**. Для некульових фрез значення **Нахил** недоступне. Відведення використовується і у випадках, коли дозволеними значеннями нахилу (3) не вдається уникнути зіткнення. Дозволені значення нахилу вимірюються від розрахункового положення.

При розрахунку безпечного положення інструменту враховуються параметри проміжків (4), значення яких проілюстровані малюнком. Три перші параметри наслідують з налаштувань **Параметрів різання**, але можуть бути змінені (ознака спадкоємства - закритий замок поряд зі значенням параметра). Значення **Кут проміжку при нахилі** бажано залишати мінімально можливим,

оскільки воно сильно впливає на швидкість розрахунку і зменшує свободу для пошуку відповідного положення інструменту.

На цьому етапі просто натисніть **ОК**, траєкторія буде перерахована. Виконайте верифікацію, щоб переконатися у відсутності зіткнень. Одне з положень інструменту показане на рис. 6.38.

Також звернете увагу, що в навігаторові операцій з'явився статус (символ ключика), що інформує про те, що траєкторія піддана редагуванню. При перерахунку результат редагування буде втрачений, проте при спробі перерахунку буде видано відповідне попередження.

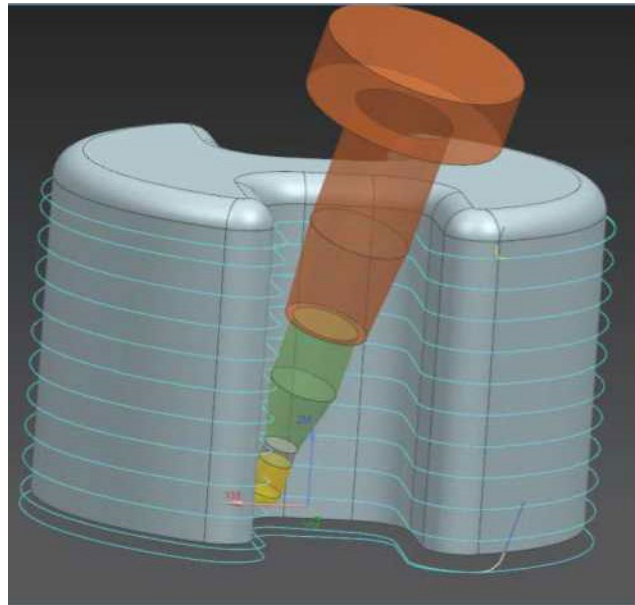


Рисунок 6.38 - Зіткнення державки та деталі, показане на малюнку 6.36, усунено

Змініть відображення моделі, задавши прозорість, і включіть шар 11, на екрані будуть видні червоні криві (рис. 6.39), які ми використовуватимемо для завдання орієнтації осі інструменту.

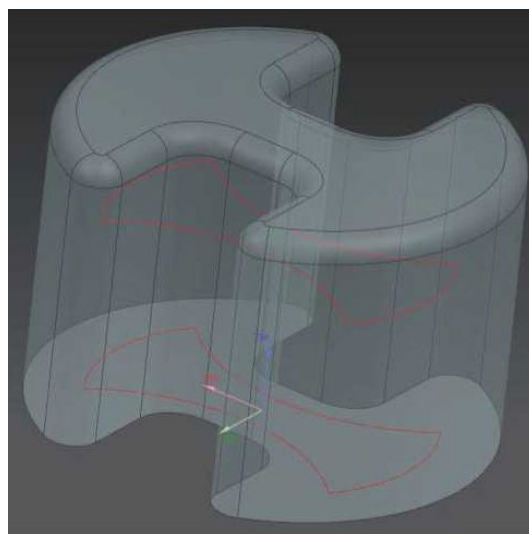


Рисунок 6.39 - Криві також можна використовувати для орієнтації осі інструменту

Зробіть копію операції VARIABLE_CONTOUR, згенеруйте її (функція відхилення осі інструменту працює тільки на згенерованій траєкторії) і з контекстного меню операції виконаєте команду **Траєкторія - Нахил осі інструменту**.

Перемкніть параметр **Нахил вручну** в значення **що Задається користувачем** (1 на рис. 6.40), в цьому випадку з'являються нові параметри: Спосіб нахилу інструменту задайте Від кривої (2) і виберіть верхню з двох червоних кривих. Правило нахилу (3) - убік. Обмеження осі гойдання (4) задайте, як показано. Максимальну зміну осі інструменту також потрібно поміняти і встановити в значення 2 градуси на крок (5), оскільки наша крива містить гострі кути, де можлива різка зміна осі інструменту, що небажано. Натисніть **ОК**, траєкторія буде показана після закінчення розрахунку. Виконайте її верифікацію.

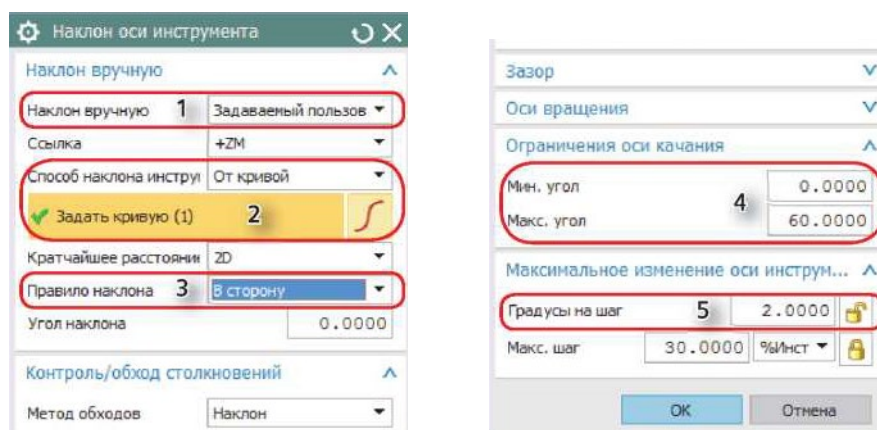


Рисунок 17.40 - Діалогове вікно команди «Нахил осі інструменту» при орієнтації через криву

Якщо дивитися згори (рис. 6.41), то вісь інструменту розташовується по нормалі до кривої (точніше не вісь, а проекція осі в площину, перпендикулярну осі Z).

При створенні цього малюнка використовувалися опції відображення початкової операції. Коротко ми розглядали їх в главі 4 при обробці контурів, але для того випадку інструмент показували в 2D. Для 5-осьових операцій, особливо при активній роботі з віссю інструменту, корисно показувати його в 3D. Ця команда є в діалогових вікнах будь-яких операцій - **Параметри - Змінити відображення - Інструмент - 3D**. Частота відображення в даному випадку задана 20. Функція відхилення осі інструменту наслідуює ці установки з початкової операції.

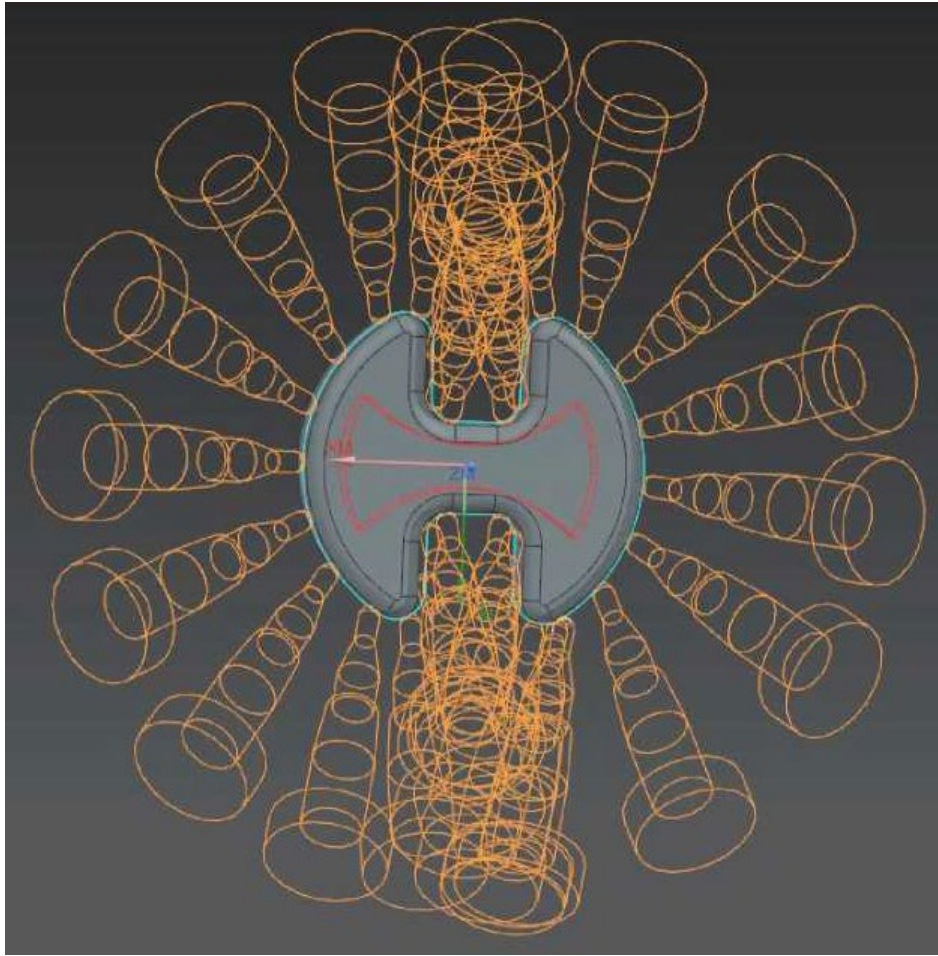


Рисунок 6.41 - Орієнтація інструменту вирівнюється відносно кривої(вид зверху)

На вигляді збоку орієнтацію інструменту передає рис. 6.42. Вісь інструменту дивиться на криву (вісь умовно показана білою лінією), але перевіряє обмеження (4). Для проходів, де починає працювати обмеження, використовується одна з меж. В даному випадку (рис. 6.42 справа) це 60° . У прикладі є ще друга крива, розташована на рівні $Z=0$. Використайте її для зміни орієнтації інструменту самостійно, щоб оцінити вплив того, що має в розпорядженні криву відносно оброблюваної геометрії.

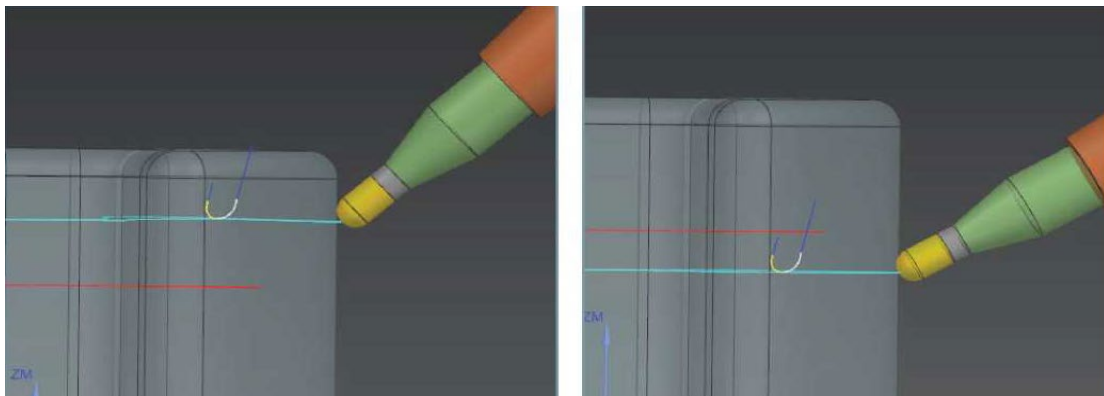


Рисунок 6.42 - Орієнтація інструменту вирівнюється відносно кривої (вид збоку)

Розглянемо використання цього ж функціонала для 5-осьової обробки поднутрених. Відкрийте приклад tilt_pocket.prt.

Тут є операція VARIABLE_CONTOUR для обробки дна кишень. Умовно вважаємо, що потрібно витримати інструмент по нормалі до дна кишень скрізь, де це можливо. Для цього операція згенерована без урахування зіткнень з хвостовиком і утримувачем (рис. 6.43). При цьому параметр Параметри різання - Обмеження - Контролювати інструмент вище за його сферичну частину **включений** (рис. 6.44). В результаті залишаються необроблені області поблизу стінок. Вимкніть параметр **Контролювати інструмент вище за його сферичну частину** і перегенеруйте операцію. Результат показаний на рис. 6.45.

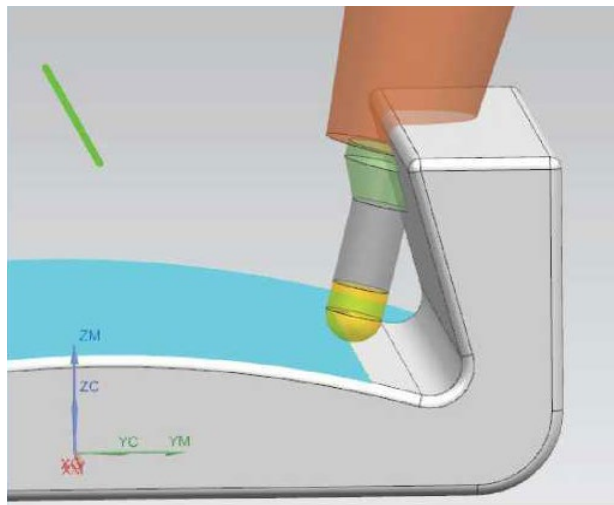


Рисунок 6.43 - Проблема, де інструмент, розташований за нормаллю до дна кишень, визиває зіткнення з деталлю

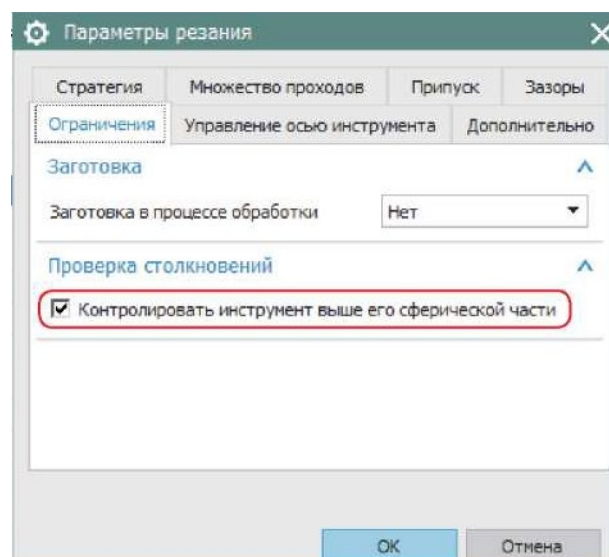


Рисунок 6.44 - Розташування параметру «Контролювати інструмент» вище його сферичної частини

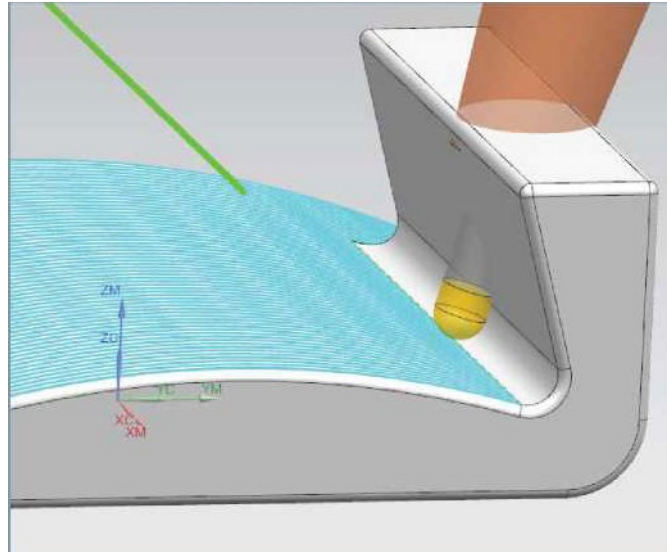


Рисунок 6.45 - Область обробки розширена, але поки що із зіткненням

Зверніть увагу, що мова не про різальну частину, а саме про сферичну частину інструменту. З контекстного меню операції виконаєте команду **Траєкторія - Нахил осі інструменту**. Параметр **Нахил вручну** встановите в значення **Зберегти початковий** і натисніть **ОК**. Нахил осі в траєкторії інструменту буде перерахований так, щоб обробити усю область з урахуванням хвостовика і утримувача (рис. 6.46).

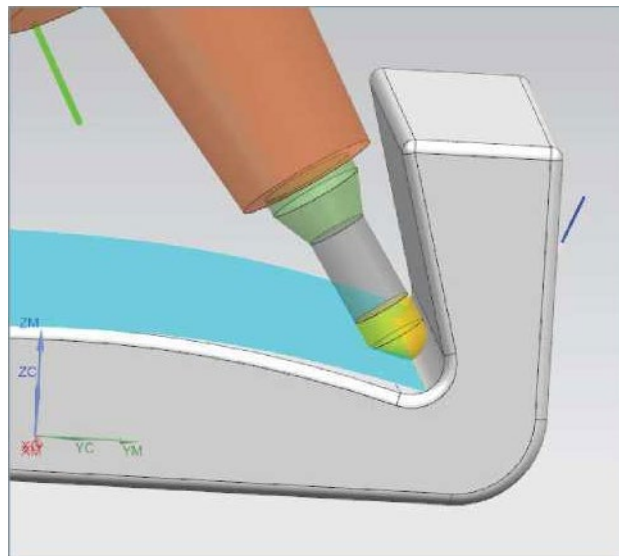


Рисунок 6.46 - Зіткнення державки та деталі, показане на рис. 17.45 усунуто

У прикладі ще задана крива, яка може використовуватися для зміни орієнтації інструменту в проблемних областях, що бажають можуть поекспериментувати з її використанням самостійно.

Тема 7 Операції обробки моноколів

Операції для обробки моноколів - MULTIBLADE MACHINING

У NX є спеціальний модуль по обробці моноколів, імпеллерів і шнеків. Модуль містить ряд високоавтоматизованих операцій по програмуванню обробки, які мінімізують час і зусилля на підготовку програм, збільшують стійкість інструменту, покращують якість оброблюваної поверхні.

Завдання геометрії Ідеологія NX по роботі з батьківськими групами отримала подальший розвиток в цьому модулі. Створена нова геометрична група (**multi blade geometry**), яка дозволяє окремо задати грані маточини, лопатки, розсікача, бандажа і скруглення, а також положення осі обертання і кількість лопаток (рис. 7.1). Ця геометрія, задана одного разу, надалі наслідують усіма спеціалізованими операціями. Геометрія може складатися з будь-якої кількості граней і може бути імпортована з інших систем.

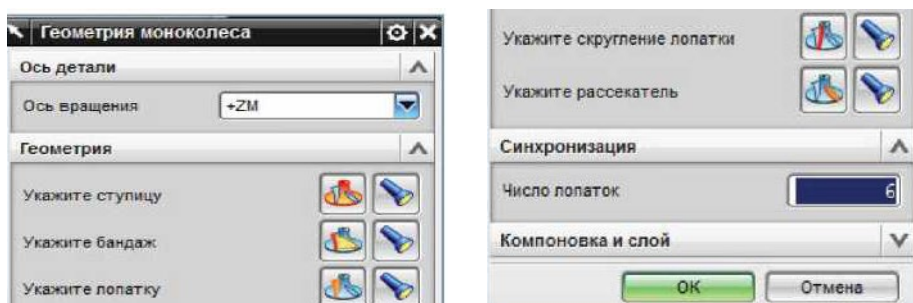


Рисунок 7.1 - Діалогове вікно геометричної групи для завдання геометрії моноколів

Команди операцій доступні при вказівці типу операцій `mill_multi_blade` (рис. 7.2). Таких операцій чотири: Чорнова обробка моноколеса (`Multi_blade_rough`); Чистова обробка маточини (`Hub_finish`); Чистова обробка лопатки (`Blade_finish`); Чистова обробка скруглення (`Blend_finish`). Відкрийте приклад `cam_impeller_setup_1.prt`.

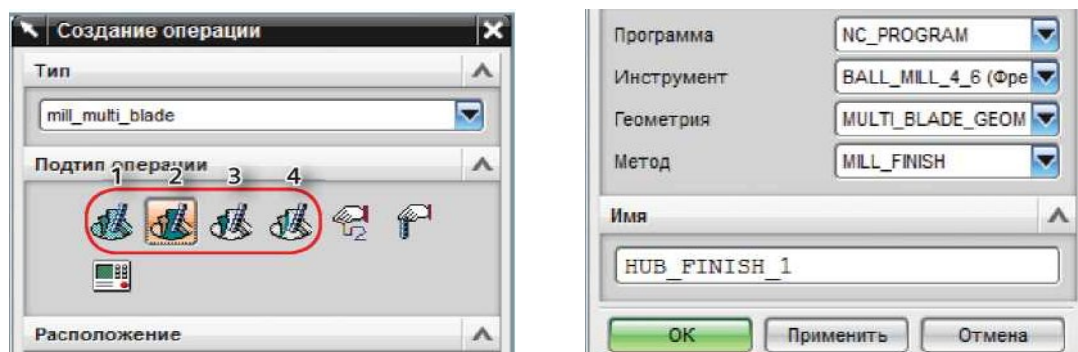


Рисунок 7.2 - Розташування команд операцій обробки моноколів

Встановіть вид геометрії навігатора операцій. Двічі клацніть по геометричній групі `MULTI_BLADE_GEOM`. Подивіться, які грані моделі використовуються для завдання геометрії для обробки. Ці об'єкти показані на малюнку 7.3.

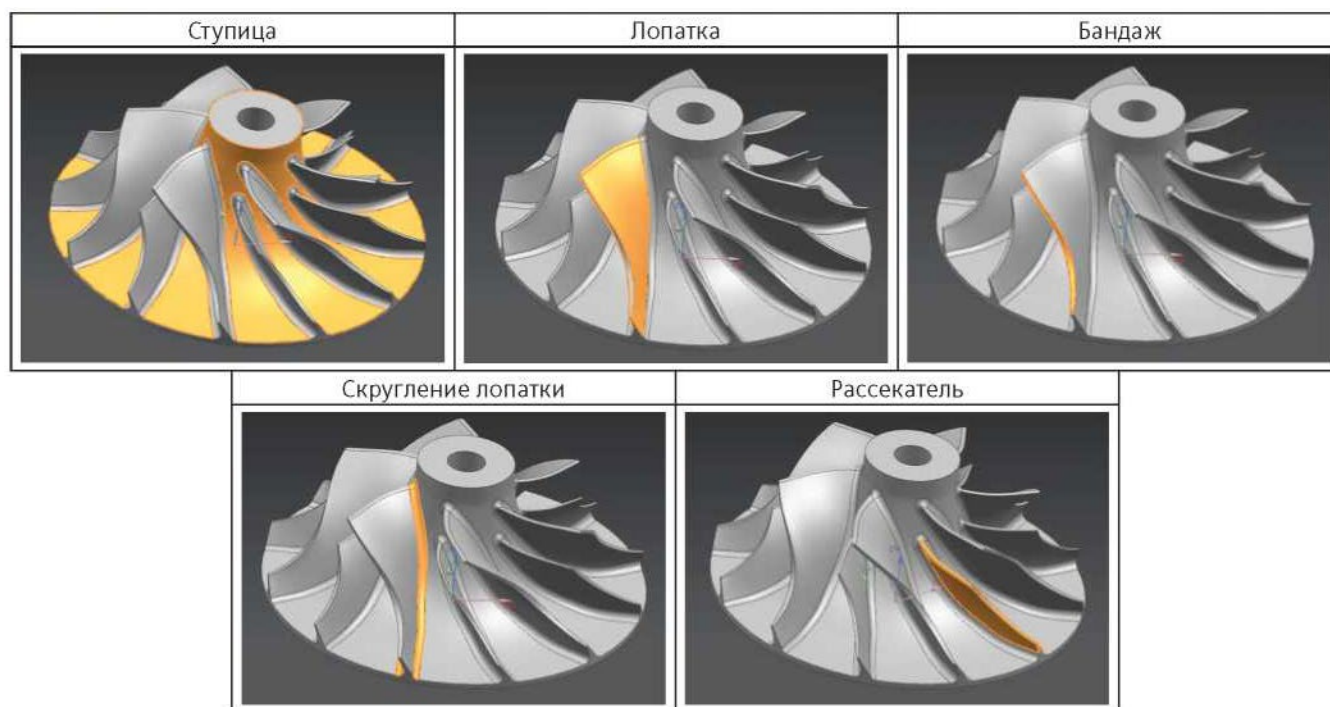


Рисунок 7.3 - Елементи моноколеса

Дамо декілька коментарів відносно завдання геометрії моноколеса. Маточина і бандаж повинні належати поверхні обертання з віссю моноколеса. Це важливо для правильної роботи розрахункового алгоритму. Скруглення лопатки задається окремо від геометрії самої лопатки, скруглення розсікача задається в діалоговому вікні завдання розсікача. Операції по обробці лопатки і скруглення лопатки використовуються і для розсікача. При завданні кількості лопаток вказується їх число без урахування розсікачів. Можливе завдання більше одного розсікача. Розглянемо основні операції.

Чорнова обробка моноколеса (Multiblade Roughing)

Чорнова обробка моноколес і імпеллеров є 5-осьовою безперервною операцією і призначена для видалення міжлопаткового матеріалу. Область обробки, орієнтація інструменту, порядок проходів і інші параметри визначаються автоматично. Хоча автоматизація важлива і дає швидкий результат, важливо забезпечити і гнучкість операції. У NX є можливість редагувати багато параметрів операції. Відкрийте діалогове вікно операції MULTI_BLADE_ROUGH (рис. 7.4).

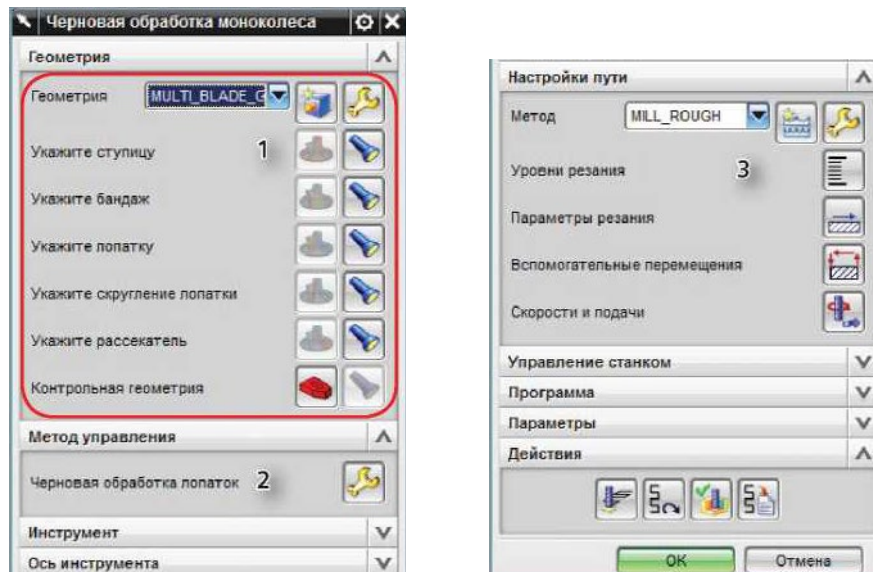


Рисунок 7.4 - Діалогове вікно операції MULTI_BLADE_ROUGH

Група параметрів **Геометрія** (1) посилається на групу MULTI_BLADE_GEOM. Специфічні параметри операції задаються в параметрах **Методу управління** (2), їх розглядати не будемо. Згадаємо тільки, що в цьому діалоговому вікні задається шаблон різання, який може набувати два значення, - **Зиг** і **Зигзаг з підйомом**. Виконайте команду **Рівні різання** (3), з'явиться нове діалогове вікно (рис. 7.5).

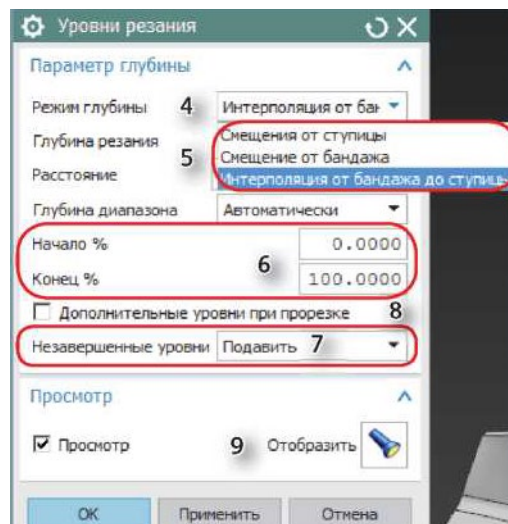


Рисунок 7.5 - Діалогове вікно рівней різання

Рівні різання в цій операції не є плоскими, вони можуть задаватися трьома способами (4): **Зміщенням від маточини**, **Зміщенням від бандажа** і **Інтерполяцією від бандажа до маточини**. Останній спосіб має переваги, оскільки усі проходи йдуть на всю довжину міжлопаткового простору, що покращує процес урізування і виходу інструменту. Наша операція використовує саме цей спосіб. **Глибина різання** (5) задана явно. Параметри **Початку** і **Кінця діапазону** (6) встановлені в 0 і 100%,

тобто міжлопатковий простір обробляється в одній операції на усю глибину. Для вузьких і глибоких каналів управління цими параметрами - один із способів чорнового доопрацювання з використанням інструментів різного діаметру або вильоту. Лопатки можуть бути досить високими і при виконанні чорнової обробки на повну висоту стануть нежорсткими, для таких лопаток можна чергувати чорнову і чистову обробки, виконуючи її зонами по висоті. Передбачені параметри пригнічення неповних проходів (7), додаткові рівні при первинній прорізі (8) зменшують навантаження на фрезу, коли фреза йде повним діаметром. Команда **Відобразити (9)** показує рівні різання (рис. 7.6), вона може використовуватися для контролю правильності завдання параметрів, але не є обов'язковою (корисна, якщо час розрахунку траєкторії значний).

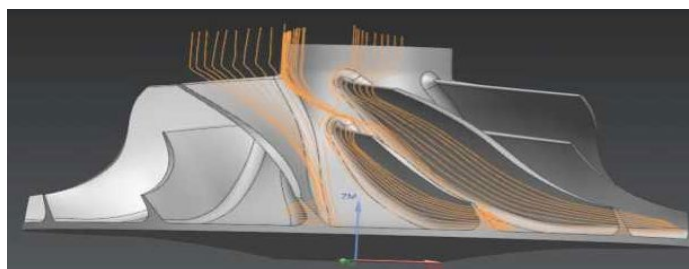


Рисунок 7.6 - Рівні різання в режимі попереднього переглядання

Траєкторія інструменту в цій операції показана на рис. 7.7.

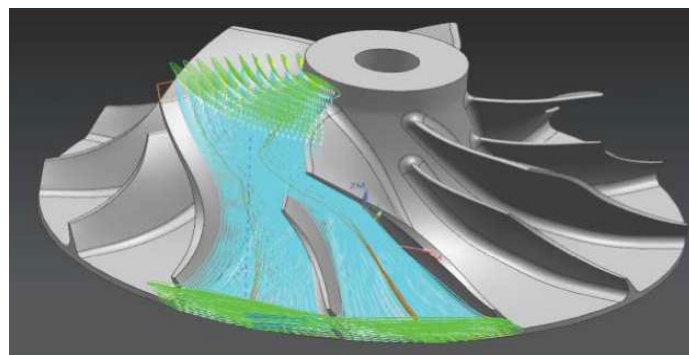


Рисунок 7.7 - Траєкторія, створена операцією MULTI_BLADE_ROUGH

Зверніть увагу на гладкі допоміжні рухи (урізування, переходи). Виконайте верифікацію траєкторії для наочності. Операція може відстежувати поточний стан заготовки (ЗвПО) при використанні меншого інструменту для доопрацювання, ця можливість включається в **Параметрах різання**, як і у багатьох інших операціях.

Звернемо увагу ще на декілька специфічних налаштувань в цій операції, вони також знаходяться в **Параметрах різання**. Це параметр, що регулює міру обгинання розсікача (рис. 7.8), можливість задавати різний припуск для маточини, лопатки і т. д. (рис. 7.9) параметри згладжування осі інструменту (рис. 7.10). Контекстне-залежні рисунки не вимагають подальших пояснень цих параметрів.

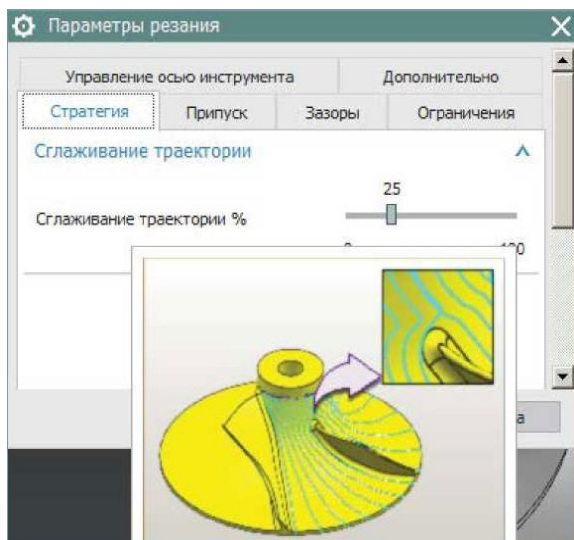


Рисунок 7.8 - Параметр, що регулює ступінь огибання розсікача

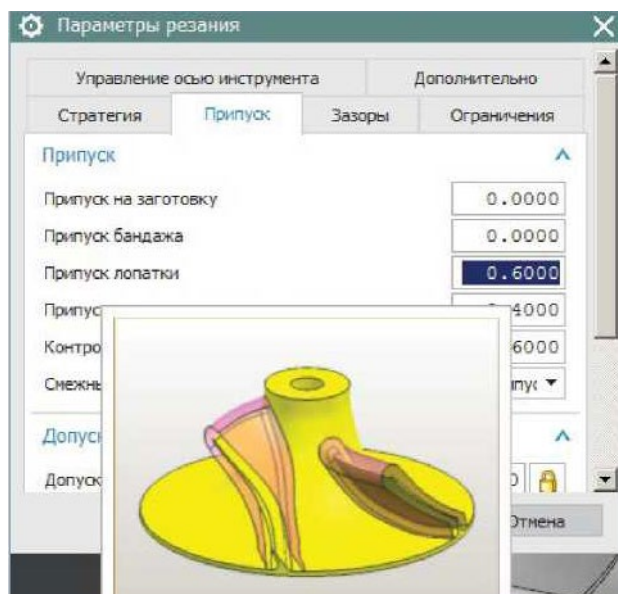


Рисунок 7.9 - Можливо задати різний припуск для ступіци, лопатки худо

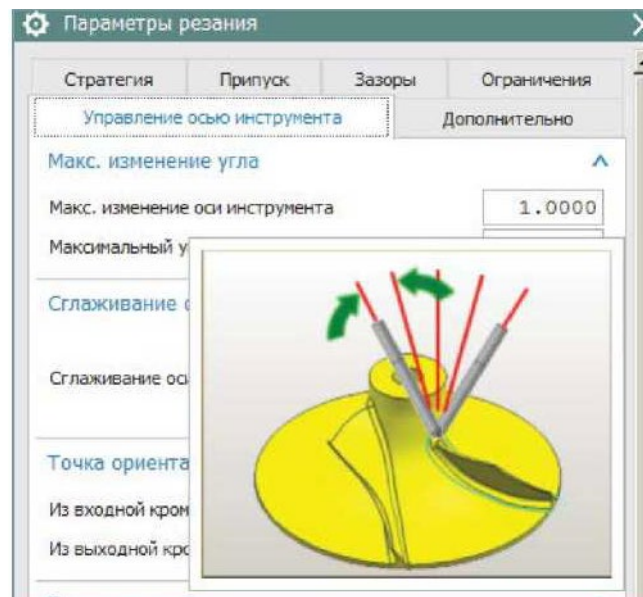


Рисунок 7.10 - Параметры згладжування осі інструменту

Чистова обробка лопатки (Blade Finishing)

Обробка лопатки виконується автоматично, але, так само як при чорновій обробці, є можливість змінювати ряд параметрів. Наприклад, можна обробляти усі сторони лопатки послідовно круговими проходами, а можна окремо кожну сторону. Також можливе обмеження обробки у відсотках до висоти лопатки, що корисно для нежорстких деталей. Відкрийте діалогове вікно операції BLADE_FINISH_1 (рис. 7.11).

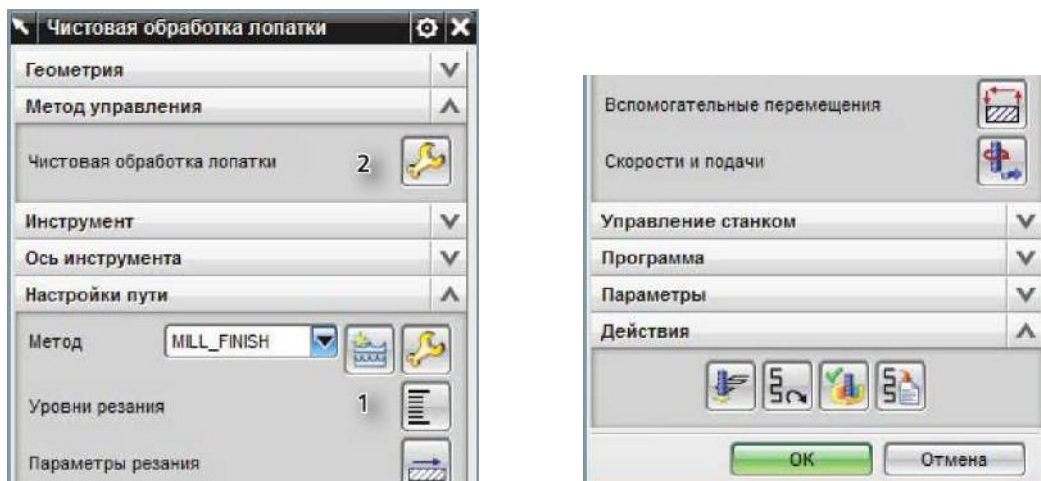


Рисунок 7.11 - Діалогове вікно операції BLADE_FINISH

Група параметрів **Геометрія** також посилається на групу MULTI_BLADE_GEOM і згорнута для компактності діалогового вікна. **Рівні різання (1)** теж використовуються (їх використання аналогічно попередній операції). Специфічні параметри операції задаються в параметрах **Методу управління (2)**. Виконайте команду завдання параметрів методу управління, нове діалогове вікно з'явиться (рис. 7.12). Ця ж операція застосовується і для обробки розсікача, тому в ній вказується

Геометрія для обробки (3). В даному випадку задана **Лопатка**. Другий важливий параметр - **Сторони різання (4)**, на малюнку показані можливі значення. Опція **Усі сторони** забезпечить кругову обробку (але в моделі має бути задана вихідна кромка як грань або набір граней). Можлива роздільна обробка сторін лопатки. В даному випадку задана обробка обох сторін і вхідної кромки. **Шаблон різання** в операції єдиний - **Зиг**, якщо задані усі кромки, то можливе використання другого шаблону - **Спіраль**. Траєкторія показана на рис. 7.13. Зверніть увагу на згладжені переходи в районі вихідної кромки. Виконайте верифікацію траєкторії.

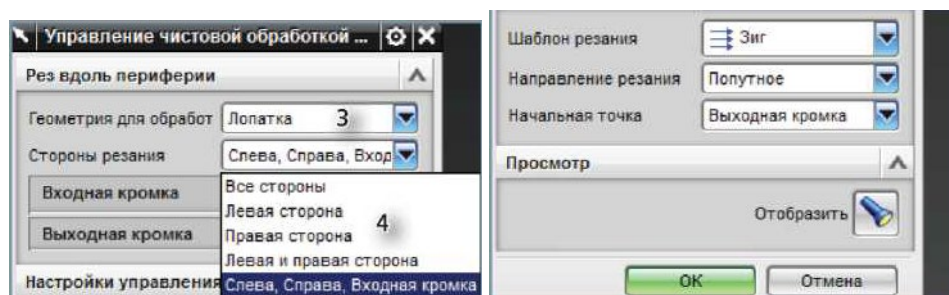


Рисунок 7.12 - Діалогове вікно завдання геометрії для обробки лопатки

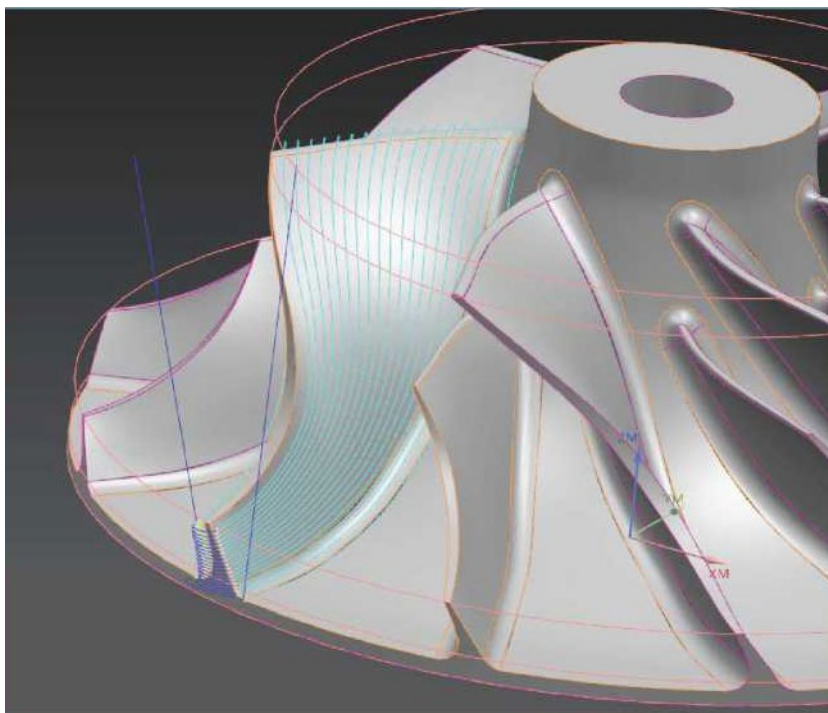


Рисунок 7.13 - Траєкторія, що створена операцією BLADE_FINISH

Чистова обробка маточини(Hub Finishing)

При обробці маточини часто треба подовжити проходи для забезпечення плавного виходу інструменту із зони різання. У цій операції можна подовжити проходи в радіальному і осьовому напрямках без редагування самої геометрії. Відкрийте діалогове вікно операції HUB_FINISH (рис. 7.14).

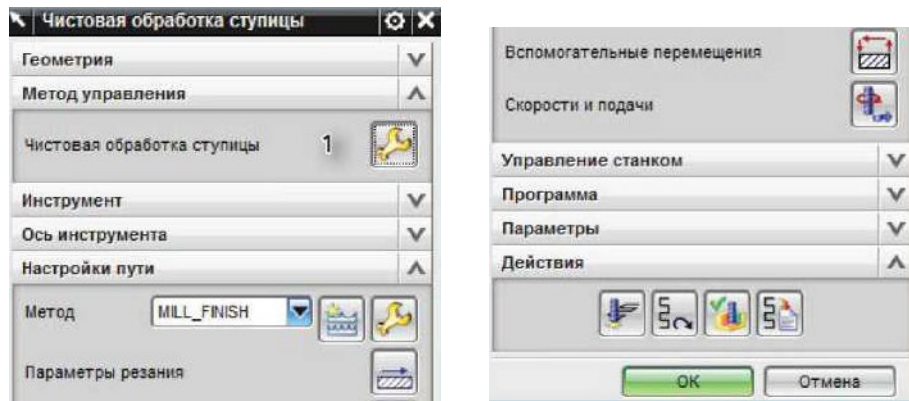


Рисунок 7.14 - Діалогове вікно операції HUB_FINISH

Група параметрів **Геометрія** задана аналогічно. Рівні різання не використовуються (оскільки йдеться про обробку дна). Специфічні параметри операції задаються в параметрах **Методу управління (1)**. Виконайте команду зада-ння параметрів методу управління, з'явиться нове діалогове вікно (рис. 7.15).

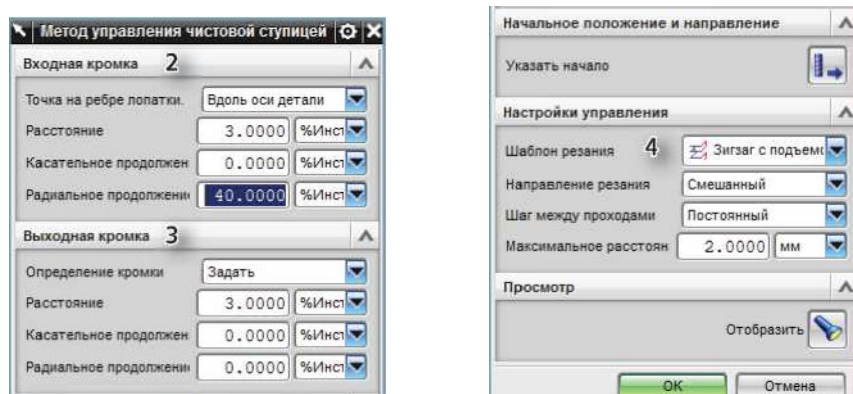


Рисунок 7.15 - Діалогове вікно методу керування обробкою ступіци

У ній можна задати параметри продовження **Вхідною (2)** і **Вихідною (3)** кромки. За умовчанням параметри вихідної кромки задані як для вхідної, але в нашому випадку радіальне продовження задане тільки на вхідній кромці. **Шаблон різання (4)** може набувати два значення: **Зигзаг з підйомом** і **Зиг**.

Траєкторія для першого випадку показана на рис. 7.16, стрілкою на малюнку показаний результат продовження робочих ходів для вхідної кромки. Траєкторія для шаблону **Зиг** показана на рис. 7.17. Зверніть увагу на згладжені переходи між робочими ходами (показані синім). Такі переходи дозволяють підтримувати фіксований напрям різання, що дуже важливо при обробці важкооброблюваних матеріалів.

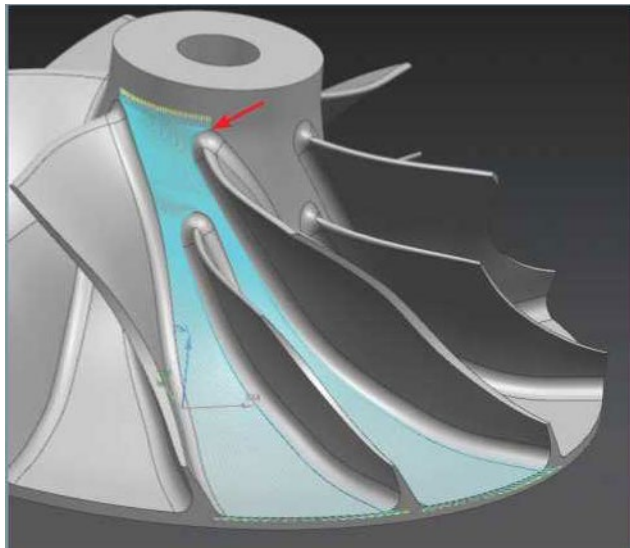


Рисунок 7.16 - Траєкторія обробки ступіци, де виконано продовження робочих ходів

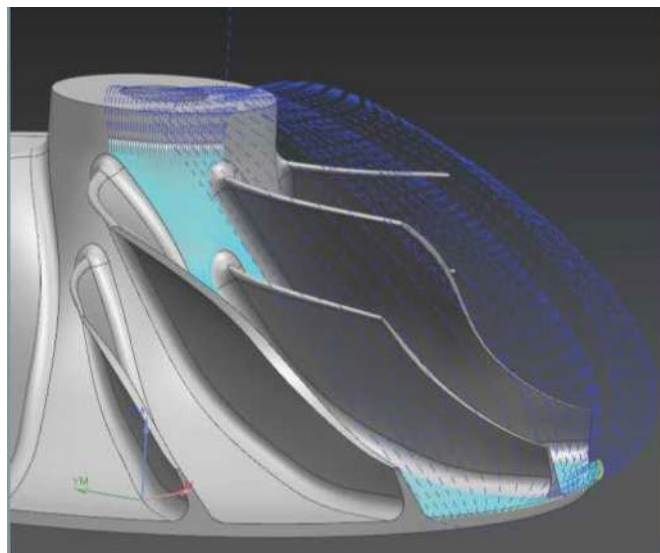


Рисунок 7.17 - Траєкторія обробки ступіци для шаблону «Зиг»

У **Параметрах різання** є параметр згладжування положення осі інструменту, що корисно на неякісній геометрії, а також параметр, задаючий міру обгинання вхідної кромки розсікача (аналогічно чорнової операції обробки моноколів).

Чистова обробка скруглення (Blend Finishing) Операція обробки радіусу організована так, щоб обробляти не лише саму поверхню радіусу, але і смугу заданої ширини. При цьому для забезпечення перекриття смуга може захоплювати поверхню лопатки і маточини. Відкрийте діалогове вікно операції BLEND_FINISH_BLADE, діалогове вікно схоже на вже знайомі нам операції і не наводиться. Виконайте команду завдання параметрів методу управління, з'явиться нове діалогове вікно (рис. 7.18).

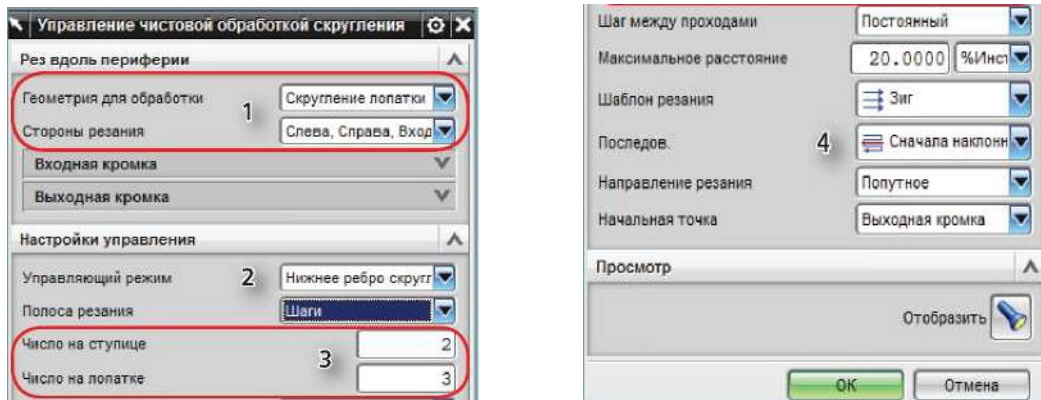


Рисунок 7.18 - Діалогове вікно методу керування обробкою округлення лопатки

Завдання **Геометрії для обробки (1)** аналогічно операції обробки лопатки. У налаштуваннях управління задаються **режим (2)**, що **Управляє**, і **Число проходів** по маточині і по лопатці (3). Порядок виконання проходів (4) дуже схожий на 3-осьові операції по доопрацюванню кутів. Траєкторія показана на рис. 7.19. Приклад містить також операції по обробці розсікача і скруглення розсікача.

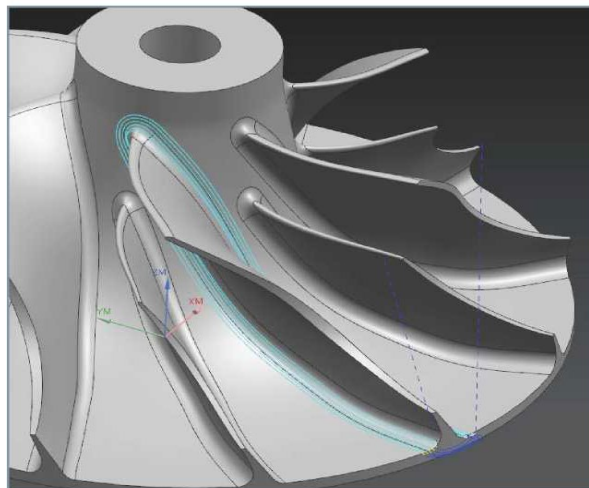


Рисунок 7.19 - Траєкторія обробки округлення лопатки