

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з виконання курсової роботи з дисципліни ОК8

“CAD/CAM/CAE від концепції до виробу”

для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка»
освітньої програми «Технології машинобудування»

2025

Методичні вказівки з виконання курсової роботи з дисципліни ОК8 “CAD/CAM/CAE від концепції до виробу” для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» / Укл.: Є.В. Вишнепольський, Г.В. Пухальська - Запоріжжя: НУЗП, 2025 - 105 с.

Укладачі:	Вишнепольський Є.В., к.т.н., доцент Пухальська Г.В., к.т.н., доцент
Рецензент:	Гончар Н.В., к.т.н., доцент
Відповід. за випуск	Дядя С.І., к.т.н., доцент

Затверджено на засіданні
кафедри "Технології
машинобудування"
Протокол № 1
від 06.08.2025р.

Рекомендовано до видання
НМК Машинобудівного
факультету
Протокол № 1
від 26. 08. 2025р.

Вступ.....	5
1 Мета та завдання курсової роботи.....	6
2 Тематика, склад та обсяг курсової роботи	6
3 Загальні правила оформлення курсової роботи	7
4 Вихідна інформація для виконання курсової роботи	10
5 Етапи виконання курсової роботи	11
5.1 Опис конструкції та службового призначення деталі.....	11
5.2 Аналіз виду та методу отримання заготовки, техніко-економічне обґрунтування обраного варіанту.....	12
5.3 Розробка операційної технології токарної операції.....	21
5.3.1 Розрахунок режимів різання.....	24
5.3.2 Розробка токарної операції за допомогою програми «Unigraphics» модуль NXCAM	30
5.3.3 Розробка токарного РТК	45
5.4 Розробка операційної технології фрезерної (свердлильної) операції.....	47
5.4.1 Розрахунок режимів різання.....	47
5.4.2 Розробка фрезерної (свердлильної) операції за допомогою програми «Unigraphics» модуль NXCAM.....	49
5.4.3 Розробка фрезерного РТК.....	61
5.5 Ручна підготовка керуючої програми з використанням G та M кодів.....	62
5.5.1 Підготовка операційного ескізу деталі.....	62
5.5.2 Розробка траєкторії руху інструментів, розрахунок координат та прирощень опорних точок, ...	82
5.6 Розрахунок деталі на міцність.....	91
6 Вимоги до техніки безпеки.....	101
7 Перелік посилань.....	102
8 Додатки.....	103
Додаток А. Титульна сторінка	103
Додаток Б. Завдання на курсову роботу.....	104
Додаток В. Приклад оформлення реферату на курсову роботу	105
Додаток Д. Приклад оформлення висновків.....	106

Вступ

Сучасні тенденції розвитку металообробного виробництва пов'язані із скороченням періоду експлуатації виробів, розширенням номенклатури продукції. Усе це вимагає значного підвищення ефективності виробничого циклу за рахунок широкого впровадження верстатів з ЧПК і багатоцільових верстатів, що дозволяють значно понизити вплив людського чинника на якість продукції, і терміни її випуску. В той же час важливим чинником зниження собівартості продукції, є скорочення часу з моменту ухвалення рішення про проектування нової продукції до її випуску, що досягається нині широким впровадженням САПР на усіх етапах технологічної підготовки виробництва.

Для реалізації згаданих вище шляхів підвищення ефективності виробничого циклу потрібна своєчасна підготовка фахівців високої кваліфікації, здатних вирішувати комплексні завдання не лише по проектуванню виробів, але і по підготовці випуску цих виробів з використанням сучасних засобів автоматизації виробничого циклу.

Курсову роботу націлено на підготовку фахівців, що відповідають сучасним вимогам ринку і здатних адаптуватися під вимоги, що постійно змінюються, і умови виробництва.

САПР, САПР ТП, ЧПК, КП(УП), НДІ, РТК, ПЗ, ДСТУ, ГОСТ, ОСТ, СТП, МЦХ, АРТ, ВПД, ВЧПК

1 Мета та завдання курсової роботи

Мета виконання курсової роботи - навчити студентів проектувати ефективні і економічні технологічні процеси виготовлення деталей на верстатах з ЧПК з використанням сучасного програмного забезпечення.

В процесі виконання курсової роботи вирішуються наступні завдання: розширення, систематизація і закріплення теоретичних знань в області розробки ефективних технологічних процесів виготовлення деталей на верстатах з ЧПК; розвиток і закріплення навичок ведення самостійної творчої інженерної роботи; практичне освоєння вибору прогресивного технологічного устаткування, різального і допоміжного інструменту, а також технологічного оснащення; оволодіння основними принципами автоматизованої підготовки керуючих програм для верстатів з ЧПК з використанням сучасного програмного забезпечення; освоєння принципів і методів системного аналізу науково-технічної літератури, патентної і довідкової інформації.

2 Тематика, склад та обсяг курсової роботи

Теми курсових робіт з дисципліни «Системи автоматизованого проектування технологічних процесів» підбираються і формуються з урахуванням можливостей і перспектив розвитку машинобудівних підприємств - баз практики, за завданнями промислових підприємств і НДІ, а також на основі тематики і планів науково-дослідних робіт випускаючої кафедри.

У курсовій роботі студент, як правило, розробляє технологічні операції обробки деталі на верстатах з ЧПК з використанням можливостей сучасних САПР, розробляє керуючі програми для обробки деталі на верстаті з ЧПК, розраховує з використанням сучасних програм обчислення, задану деталь на міцність.

Приблизний обсяг курсової роботи п'ятдесят аркушів. Графічна частина і пояснювальна записка виконуються і представляються до захисту в паперовому вигляді. Приклад титульного аркушу та завдання на курсову роботу наведений в додатках А і Б.

Графічна частина типової курсової роботи включає: креслення деталі, креслення заготовки, РТК токарне, РТК фрезерне (свердлильне).

У якості додатків наводиться роздруківка керуючої програми для верстата з ЧПК.

Пояснювальна записка (ПЗ) повинна містити основні теоретичні відомості, всі необхідні пояснення, розрахункові формули, ескізи та розрахунки.

3 Загальні правила оформлення курсової роботи

ПЗ оформляється на листах одностороннього паперу формату А4 (210×297 мм). При необхідності допускається використання формату А3 (297×420 мм).

Текст ПЗ оформляється рукописним способом чорнилом чорного, синього або фіолетового кольорів або машинописним текстом через півтора інтервали (відстань між рядків 8 мм) на одній стороні листа. У разі виконання ПЗ машинним способом (за допомогою комп'ютерної техніки) на одній сторінці друкують не більше 40 рядків за умови рівномірного її заповнення і заввишки букв і цифр не менше 1,8 мм. Друкарські помилки, описки виправляються стиранням, зафарбовуванням.

Розміри полів ПЗ : верхнє, лівє і нижнє - не менше 20 мм, правє - не менше 10 мм.

Усі листи ПЗ мають бути скріплені.

Не допускається:

- застосовувати різні буквені позначення для одного і того ж поняття;
- скорочувати позначення фізичних величин, якщо вони вживаються без цифр;
- застосовувати скорочені слова і словосполучення, окрім встановлених діючими стандартами;
- застосовувати довільні словотворення: "технологічний процес"(а не "техпроцес");
- застосовувати тавтологічні словосполучення: план компонування, хронометраж часу;
- замінювати слова буквеними позначеннями: довжина робочої частини розгортки 50 мм(а не L робочої частини розгортки 50 мм); діаметр отвору 20 мм (а не (отвори 20 мм);
- вживати без цифр математичні знаки =, -, +, а також знаки № %;

- застосовувати індекси стандартів (ДЕСТ, ГОСТ, ОСТ, СТП) без реєстраційного номера.

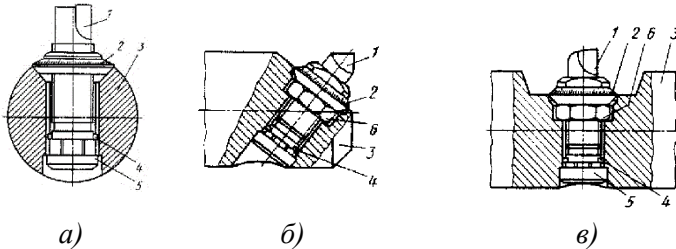
Вимоги до оформлення графічного матеріалу. На графічний матеріал обов'язково має бути посилання в тексті ПЗ.

Графічний матеріал розташовується безпосередньо після тексту, в якому про нього згадується уперше або на наступній сторінці.

Графічний матеріал може мати назву, яку поміщують під ним.

При необхідності під ілюстрацією поміщують пояснюючі дані (текст під рисунком). Ілюстрація позначається словом "Рисунок" і його назву поміщують нижче пояснюючих даних (рис. 3.1).

Приклад оформлення ілюстрації наводиться на рис.3.1.



1 – різець; 2 - гайка нониусная; 3 - борштанга; 4 - кільце; 5 – гвинти; 6 - контргайка

Рисунок 3.1 - Схеми закріплення різців в державці для розточування з точним регулюванням на розмір (а, б - на периферії, в - в центрі борштанги)

Графічний матеріал слід нумерувати арабськими цифрами наскрізною нумерацією в межах розділу, за винятком ілюстрацій в додатках. Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, розділених точкою, наприклад, рисунок 3.2 - другий рисунок третього розділу. Якщо в ПЗ є одна ілюстрація - її нумерують так само.

Якщо графічний матеріал не вміщується на одній сторінці, можна перенести його на інші сторінки, позначивши назву рисунка на першій сторінці, пояснюючі дані при необхідності - на кожній сторінці, а під ними: "Рисунок __, лист __".

Вимоги до оформлення формул.

Формули і рівняння розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині рядки. Вище і нижче формули залишають не менше одного порожнього рядка.

Усі формули і рівняння в ПЗ (за винятком формул, приведених в додатках) повинні нумеруватися арабськими цифрами. Номер формули або рівняння складається з номера розділу і порядкового номера рівняння в межах розділу, які записують в круглих дужках на рівні формули в крайньому правому положенні. Наприклад, формула (3.1) - перша формула в третьому розділі.

Пояснення символів і числових коефіцієнтів, що входять у формулу або рівняння, слід давати безпосередньо під формулою в тій послідовності, в якій вони наводяться у формулі або рівнянні.

Пояснення значення кожного символу і числового коефіцієнта необхідно давати з нового рядка. Перший рядок пояснень починають з абзацу словом "де" без двокрапки.

Приклад: "Потім для кожного шпинделя розраховуємо частоту обертання

$$n = \frac{1000v}{\pi d} \quad (3.1)$$

де v - швидкість різання, м/мін;

d - діаметр оброблюваної поверхні, мм".

Переносити формули або рівняння на наступний рядок допускається на знаках виконання операцій, повторюючи знак операції на початку нового рядка. Множення при перенесенні позначається знаком "×".

Формули, що йдуть одна за одною, не розділені текстом, відділяють комою.

Абстрактні числа до дев'яти пишуть словами, понад дев'ять цифрами, наприклад: три області 12 етапів.

Числа з одиницями вимірів і дробові числа пишуть тільки цифрами, наприклад: 5 мм; 0,32 м/с; 2/3 висоти.

Порядкові числівники пишуть цифрами і додають останню букву відмінкового закінчення. При декількох порядкових числівниках відмінкове закінчення погоджують з останнім з них. Наприклад: 2-а зона; 5-а графа; 2,4 і 5-ої графіки.

Кількісні числівники пишуть без відмінкових закінчень. Наприклад: в 12 випадках, на 27 лампах.

Інтервали чисел в тексті записують із словами "від" і "до", через багатокрапку або дефіс, наприклад, "від 7 до 12", "7...12", або "7-12".

Вимоги до оформлення таблиць

Цифрові дані для зручності сприйняття і порівняння показників рекомендується поміщати в таблиці. Таблицю слід розміщувати безпосередньо після тексту, в якому вона згадується уперше, або на наступній сторінці. На усі таблиці мають бути посилання в ПЗ.

Над таблицею поміщають точний короткий заголовок, що відбиває її зміст. Заголовок пишуть з прописної букви без точки у кінці.

Таблиці у тексті слід нумерувати арабськими цифрами наскрізною нумерацією в межах розділу, за винятком таблиць, приведених в додатках. Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, розділених точкою, наприклад: таблиця 2.1 - перша таблиця другого розділу.

Заголовки граф і рядків слід писати з прописної букви. Підзаголовки допускається писати з маленької букви, якщо вони продовжують пропозицію заголовка. У кінці заголовків і підзаголовків крапки не ставляться. Їх слід писати в однині.

Позначення одиниці фізичної величини, загальної для усіх даних в рядку або стовпці, слід вказувати після її найменування.

Замінювати лапками цифри, що повторюються в таблиці, математичні знаки і так далі не допускається.

Розділяти заголовки і підзаголовки діагональними лініями не допускається.

У разі перенесення таблиці слово "Таблиця" вказують один раз над першою частиною таблиці, над іншими частинами пишуть слова "Продовження таблиці" з вказівкою номера таблиці.

При перенесенні таблиці на наступну сторінку «голова» таблиці повторюється.

Інші вимоги до виконання таблиць - в діючих стандартах на технічну документацію.

4 Вихідна інформація для виконання курсової роботи

Уся початкова інформація, необхідна для курсової роботи,

ділиться на базову, керівну і довідкову.

Базова інформація включає: річний обсяг випуску деталі; робоче креслення деталі; поверхні для обробки котрих необхідно розробити технологічні операції.

Керівна інформація включає діючі стандарти використані при виконанні курсової роботи.

Довідкова інформація наводиться у бібліографічному списку.

5 Етапи виконання курсової роботи

5.1 Опис конструкції та службового призначення деталі

Цей розділ повинен містити опис призначення і умов роботи виробів заданої деталі, огляд і аналіз конструкцій машин, або окремих складальних одиниць, інструменту або іншого об'єкту виробництва.

У графічній частині цього пункту повинно бути виконано зображення деталі та вузол в який вона входить.

У пояснювальній частині наводяться детальний опис деталі, її експлуатаційне призначення і її дія у вузлу, обґрунтування вибору матеріалу, його механічних властивостей, термічної обробки, хімічного складу, розрахунок виконавчих розмірів та ін.

Приведені характеристики повинні служити початковим матеріалом для вибору методу отримання заготовки і розробки технологічного процесу.

Приклад опису службового призначення деталі.

Згідно з ескізу (рис. 5.1), конструкція деталі «Шестерня» спрямована на її полегшення. На це вказує вибірка у вигляді тавра з чотирма отворами на ній. На упорному поясі (пов. 19) зроблені лиски для вилучення підшипників.

У вузлі коробки приводі вона передає крутний момент на ведучу шестерню маслаггрегата. Шестерня привода МА працює у маслі при $T=90$ оС, виготовлена із сталі 14ГСМ2МАШ. Зубці цементуються на $h=0,6...1$ мм для пониження зносу та підвищення ресурсу двигуна.

Деталь встановлюється в коропці приводів турбореактивного 2-контурного двигуна АІ-25, а також його модифікаціях: ТРДД АІ-25, АІ-25 сер. 2Б, АІ 25 – ТЛК. Вони встановлюються на пасажирські та вантажні літаки місцевих авіаліній.

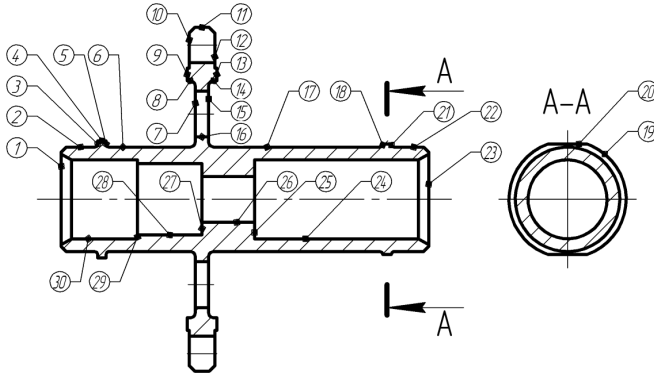


Рисунок 5.1 – Ескіз деталі «Шестерня»

5.2 Аналіз виду та методу отримання заготовки, техніко-економічне обґрунтування обраного варіанту

Для виготовлення деталей авіаційних двигунів використовують заготовки: прокат, поковки, виливки та комбіновані (штампо-зварні).

Головними факторами при виборі методу отримання заготовки, є матеріал деталі, її конфігурація, експлуатаційний режим роботи, програма випуску.

Після вибору заготовки переходять до вибору способу отримання заготовки, на основі економічної оцінки кожного з існуючих способів.

При цьому використовують два критерії економічної доцільності: коефіцієнт використання заготовки – η ; собівартість виготовлення заготовки – C_3 .

Коефіцієнт використання заготовки

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (5.1)$$

де q – маса деталі, Q – маса заготовки.

Собівартість виготовлення однієї заготовки, яка отримується литтям або штамповкою розраховується за формулою:

$$C_1 = \frac{C_B}{1000} \times Q \times K_T \times K_H \times K_C \times K_B \times K_{II} - (Q - q) \times \frac{S_{отх}}{1000} \quad (5.2)$$

де C_B – базова собівартість 1т заготовок, грн;

$K_T, K_H, K_C, K_B, K_{\Pi}$ – коефіцієнти, які враховують відповідно клас точності, групу матеріалу, групу складності, масу й програму виготовлення заготовок;

$S_{отх}$ – собівартість 1т стружки, грн.

Для заготовок з прокату:

$$C = \frac{C_B}{1000} \times Q - (Q - q) \frac{S_{отх}}{1000} \quad (5.3)$$

На попередньому етапі дозволяється виконувати оцінку тільки за критеріями η, C_3 .

Припустимо, що при виконанні двох способів отримання заготовки $C_1 < C_2$ і $\eta_1 > \eta_2$. Тут явно переважає перший спосіб. Він забезпечує річну економію по собівартості

$$\Delta = (C_2 - C_1) \times \Pi \quad (5.4)$$

і по матеріалу

$$M_{\Delta} = \frac{q \times (\eta_1 - \eta_2)}{\eta_1 \times \eta_2} \times \Pi \quad (5.5)$$

де Π – річна програма виготовлення заготовок.

Якщо ж $C_1 < C_2$ $\eta_1 < \eta_2$, то зрівнюють додаткові витрати по другому варіанту

$$\Delta = (C_2 - C_1) \times \Pi \quad (5.6)$$

з додатковими витратами на переробку «зайвого» матеріалу за першим варіантом

$$\Delta_M = \frac{C_B}{1000} \times M_1 \times K_T \times K_H \times K_C \times K_B \times K_{\Pi} \quad (5.7)$$

де M_1 – додатково використана маса матеріалу при отриманні заготовок за першим способом

$$M_1 = \frac{q \times (\eta_1 - \eta_2)}{\eta_1 \times \eta_2} \times \Pi \quad (5.8)$$

Приймають той варіант, у якого витрати менше.

Приклад аналізу виду та методу отримання заготовки, техніко-економічне обґрунтування обраного варіанту.

Для отримання заготовки в умовах серійного виробництва простої за формою деталі, порівняємо два найбільш оптимальних методи – кування на ГKM та штамповка на КГШП.

Вихідні дані:

Маса деталі $M_d = 0,125$ кг;

Матеріал: Легована хромомарганцевито-кремниста сталь 14XГСН2МА-Ш;

Габаритні розміри для конструювання заготовки (рис. 5.2);

Річна програма: 2000 шт.

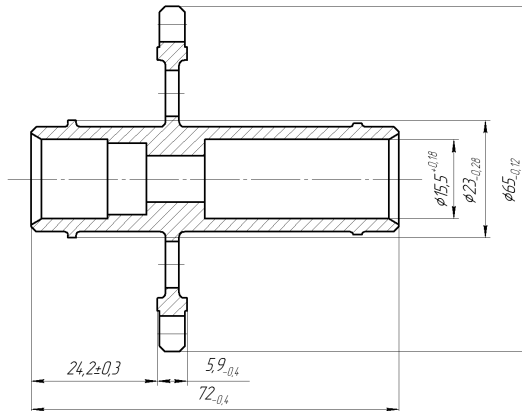


Рисунок 5.2 – Ескіз деталі з розмірами для проектування заготовки

Поковка на ГKM

Вихідні дані:

Клас точності – Т3;

Група сталі – М3;

Ступінь складності – С3;

Вихідний індекс – 12.

Припуски на обробку

Припуски на механічну обробку приймаємо за [9, с.63], залежно

від шорсткості поверхні, вихідного індексу та габаритного розміру деталі. Отримані розміри з урахуванням припуску заносимо у таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Допуск на розміри поковки та припуски на поверхні

Номінальний розмір деталі, мм	Шорсткість поверхні деталі Ra, мкм	Основний припуск, мм	Допустиме граничне відхилення, мм	Розрахунок фактичного розміру поковки, мм	Фактичний розмір поковки, мм
$\varnothing 65$	0,5	1,9	+1,4 -0,8	$65+1,9 \cdot 2=68,3$	$\varnothing 68,5^{+1,4}_{-0,8}$
$\varnothing 23$	5	1,8	+1,3 -0,7	$23+2 \cdot 1,8=26,6$	$\varnothing 27^{+1,3}_{-0,7}$
72	5	1,9	+1,4 -0,8	$72+1,9=73,9$	$74^{+1,3}_{-0,7}$
5,9	5	1,8	+1,3 -0,7	$5,9+1,8=7,7$	$8^{+1,3}_{-0,7}$

Напуски

Для спрощення контуру заготовки призначаємо напуски на усі отвори та зубці. Для полегшення заготовки намічаємо отвори на торцях деталі.

Розрахунок $K_{вм}$ та вартість виготовлення однієї заготовки на ГKM:

Коефіцієнт використання матеріалу та вартість виготовлення заготовки визначаємо за [1]. Для цього необхідно визначити масу заготовки та поправочні коефіцієнти.

Маса деталі $q = 0,125$ кг – за кресленням;

Маса заготовки на ГKM $Q = 0,528$ кг – розраховано на МЦХ (рис. 5.3)

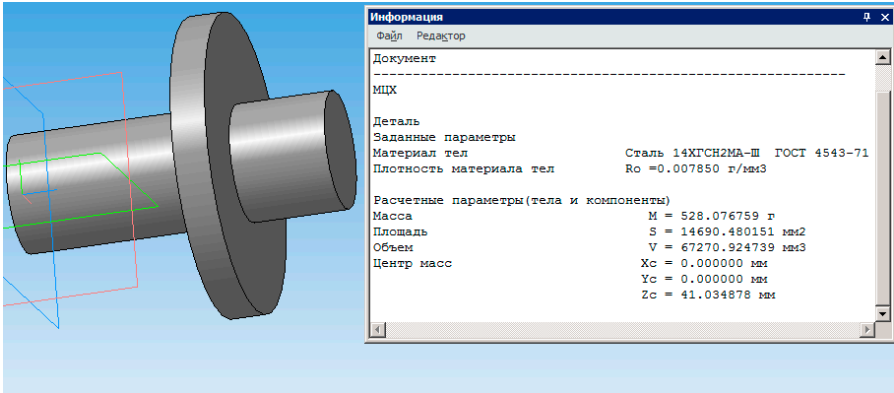


Рисунок 5.3 – МЦХ деталі, виготовленої на ГKM

Поправочні коефіцієнти для визначення вартості заготовки визначаємо за формулою:

$$B_{ГKM} = \frac{B_0}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{П} - (Q - q) \cdot \frac{B_{отх}}{1000} \quad (5.9)$$

де $B_0 = 3150$ грн – базова вартість 1м заготовок на ГKM [1, таб. 1.4];

$B_{отх} = 140$ грн – вартість 1м стружки сталі [1, таб. 1.5];

$K_T = 0,9$ – коефіцієнт, що залежить від класу точності [1, таб. 1.24];

$K_M = 1,8$ – коефіцієнт, що залежить від матеріалу вилівка [1, таб. 1.25];

$K_C = 1,0$ – коефіцієнт, що залежить від групи складності [1, таб. 1.26];

$K_B = 1,25$ – коефіцієнт, що залежить від маси заготовки [1, таб. 1.27];

$K_{П} = 0,8$ – коефіцієнт, що залежить масовості [1, таб. 1.28];

Підставляємо усі дані у формулу 5.9:

$$B_{ГKM} = \frac{3150}{1000} \cdot 0,528 \cdot 0,9 \cdot 1,8 \cdot 1,25 \cdot 1,0 \cdot 0,8 - (0,528 - 0,125) \cdot \frac{140}{1000} = 2,63 \text{ (грн)}$$

$$K_{BM} = q/Q = 0,125/0,528 = 0,23$$

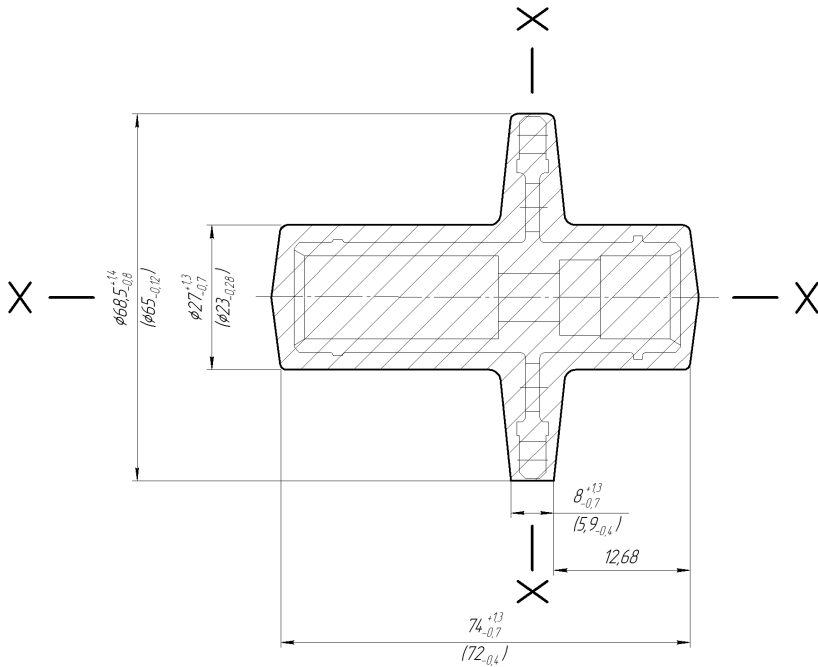


Рисунок 5.4 – Ескіз поковки на ГKM

Штамповка на КГШП

Вихідні дані:

Клас точності – Т3;

Група сталі – М3;

Ступінь складності – С3;

Вихідний індекс – 12.

Припуски на обробку

Припуски на механічну обробку приймаємо за [1, с.12], залежно від маси деталі та класу точності заготовки. Отримані розміри з урахуванням припуску заносимо у таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Допуск на розміри поковки та припуски на поверхні

Номинальний розмір деталі, мм	Шорсткість поверхні деталі Ra, мкм	Основний припуск, мм	Допустиме граничне відхилення, мм	Розрахунок фактичного розміру поковки, мм	Фактичний розмір поковки, мм
Ø65	0,5	2,6	+1,4 -0,8	$65+2,6 \cdot 2=70,2$	$\varnothing 70^{+1,4}_{-0,8}$
Ø23	5	2,4	+1,3 -0,7	$23+2 \cdot 2,4=27,8$	$\varnothing 28^{+1,3}_{-0,7}$
72	5	2,6	+1,4 -0,8	$72+2,6=74,6$	$75^{+1,3}_{-0,7}$
5,9	5	2,4	+1,3 -0,7	$5,9+2,4=8,3$	$8^{+1,3}_{-0,7}$

Напуски

Для спрощення контуру заготовки призначаємо напуски на усі отвори та зубці. Для полегшення заготовки намічаємо отвори на торцях деталі.

Розрахунок $K_{\text{вм}}$ та вартість виготовлення однієї заготовки на КГШП:

Коефіцієнт використання матеріалу та вартість виготовлення заготовки визначаємо за [1]. Для цього необхідно визначити масу заготовки та поправочні коефіцієнти.

Маса деталі $q = 0,125$ кг – за кресленням;

Маса заготовки на ГKM $Q = 0,565$ кг – розраховано на МЦХ (рис. 5.5)

Поправочні коефіцієнти для визначення вартості заготовки визначаємо за формулою:

$$B_{\text{КГШП}} = \frac{B_6}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{\Pi} - (Q - q) \cdot \frac{B_{\text{отх}}}{1000} \quad (5.10)$$

де $B_6 = 3500$ грн – базова вартість 1т заготовок на ГKM [1, таб. 1.4];

$B_{\text{отх}} = 140$ грн – вартість 1т стружки сталі [1, таб. 1.5];

$K_T = 0,9$ – коефіцієнт, що залежить від класу точності [1, таб. 1.24];

$K_M = 1,8$ – коефіцієнт, що залежить від матеріалу виливка [1, таб. 1.25];

$K_C = 1,0$ – коефіцієнт, що залежить від групи складності [1, таб. 1.26];

$K_B = 1,25$ – коефіцієнт, що залежить від маси заготовки [1, таб. 1.27];

$K_{II} = 0,8$ – коефіцієнт, що залежить масовості [1, таб. 1.28];

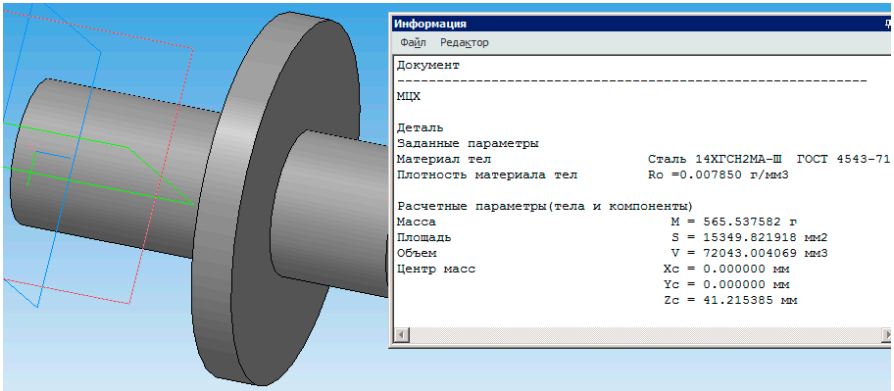


Рисунок 5.5 – МЦХ деталі, виготовленої на КГШП

Підставляємо усі дані у формулу 5.10:

$$\begin{aligned}
 B_{\text{КГШП}} &= \frac{3500}{1000} \cdot 0,565 \cdot 0,9 \cdot 1,8 \cdot 1,25 \cdot 1,0 \cdot 0,8 - \\
 &\quad - (0,565 - 0,125) \cdot \frac{140}{1000} == 2,93 \text{ (грн)} \\
 K_{\text{BM}} &= q/Q = 0,125/0,565 = 0,22
 \end{aligned}$$

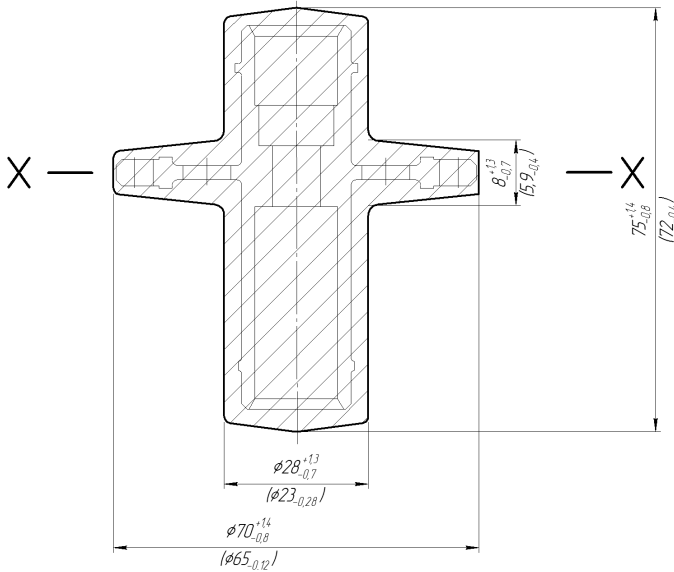


Рисунок 5.6 – Ескіз штамповки на КГШП

Порівняння обраних методів:

КГШП

$K_{вм} = 0,22$

$B = 2,93$ грн

ГКМ

$< K_{вм} = 0,23$

$> B = 2,63$ грн

Згідно з цим порівнянням, робимо висновок, що найбільш економічним методом отримання заготовки є кування на ГКМ.

Вигідність:

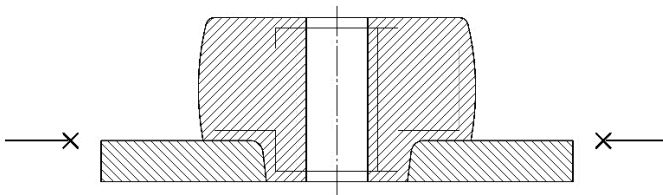
$$E = (B_{\text{КГШП}} \cdot N) - (B_{\text{ГКМ}} \cdot N) = (2,93 - 2,63) \cdot 2000 = 600 \text{ грн} \quad (5.11)$$

Порівняльні показники виготовлення заготовки на КГШП та ГКМ приведені у таблиці 5.3:

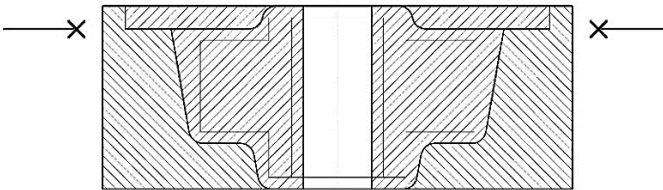
Таблиця 5.3 – Економічне порівняння

Показники	Познач	Вимір.	Методи отримання	
			ГКМ	КГПП
Припуск на сторону	z	мм	1,9	2,6
Вага заготовки	Q	кг	0,528	0,565
Коефіцієнти	K_m	-	0,9	0,9
	$K_{\text{м}}$	-	1,8	1,8
	$K_{\text{в}}$	-	1,25	1,36
	$K_{\text{с}}$	-	1	1
	$K_{\text{п}}$	-	0,8	0,8
Використання матеріалу	$K_{\text{вм}}$	%	23	22
Базова вартість 1 т заготовок	ВБ	грн.	3125	3500
Вартість 1 тони стружки	Ввідх	грн.	140	140
Вартість 1 заготовки	В	грн.	2,63	2,93

Приклади зовнішнього виду заготовок отриманих різними методами



а



б

Рисунок 5.1 – Поковки, що отримуються звичайною ковкою (а) та в підкладних штампах (б)

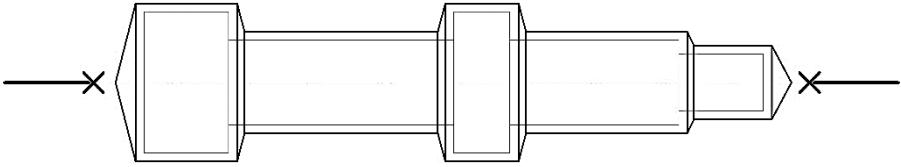


Рисунок 5.2 – Форма поковки яку отримують на пресі

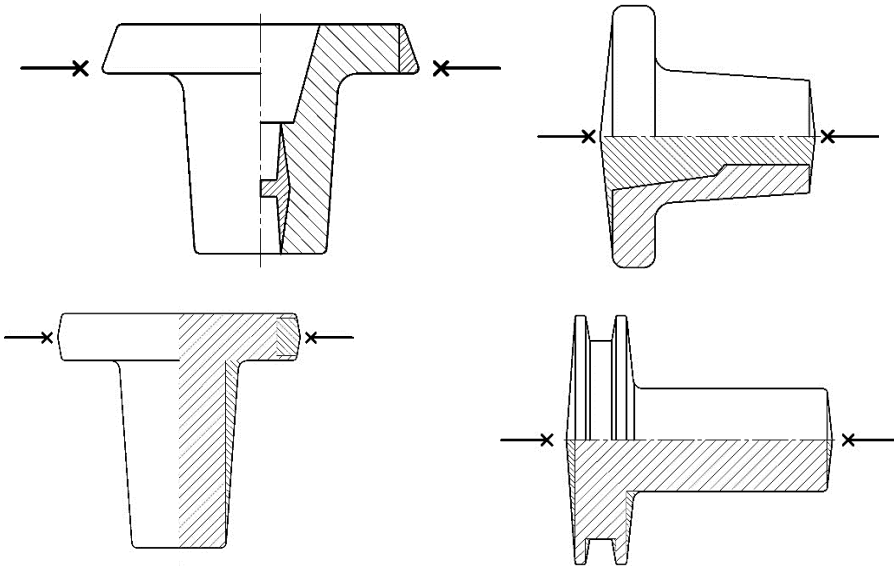


Рисунок 5.3 – Вплив поверхні роз'єму штампу на форму поковок

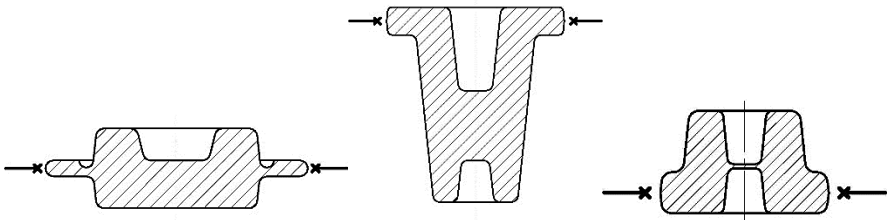


Рисунок 5.4 – Типи поковок з наміткою отвору

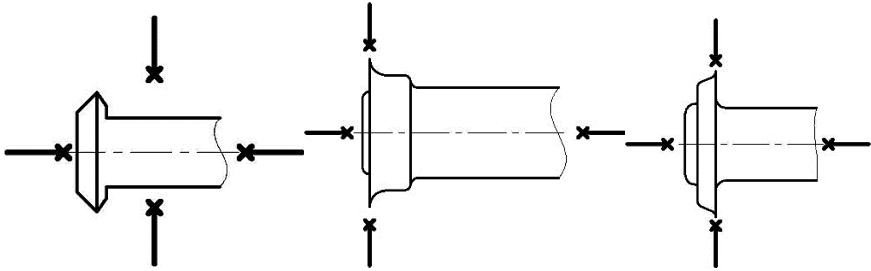


Рисунок 5.6 – Можливе розташування площини роз'єму між матрицею та пуансоном при штампуванні заготовок на ГKM.

При виконанні вибору методів отримання заготовки, необхідно звертати увагу на те, що недопустиме порівняння виливок зі штамповками порівнюють штамповку зі штамповкою, або виливку з виливком (лише невелика кількість деталей можна виконати і виливкою і штамповкою) це пов'язано з тим, що при штамповці або литті отримується різна структура матеріалу, яка буде мати безпосередній вплив на властивості виробу.

5.3 Розробка операційної технології токарної операції

5.3.1 Розрахунок режимів різання

Особливості вибору параметрів режимів різання при токарній обробці на верстатах з ЧПК.

Глибина різання. У кожному випадку вибирають максимально можливу глибину різання, яка обмежена припуском на обробку і можливостями верстата. Якщо для обробки якої-небудь поверхні передбачено два або три проходи (наприклад, чорновий, напівчистовий і чистовий), то загальний припуск ділять відповідно на дві або три частини, кожна з яких прагнуть зняти за один робочий хід.

Від глибини різання залежать ширина зрізу і довжина робочої частини різальної кромки.

Чистовий припуск залежить від ряду чинників, основними з яких є необхідна точність і шорсткість деталі, необхідність в подальшій обробці, характер попередньої обробки і т. д.

Глибину різання при чорновому проході в першому наближенні задають залежно від жорсткості інструменту, міцності і розмірів

пластини твердого сплаву. Максимально допустиму глибину різання при чорнових проходах і середню рекомендовану зазвичай вказують в картах відповідного інструменту або в нормативах. При оптимізації параметрів різання спочатку призначену глибину різання зазвичай коригують відповідно до подання, що призначається, і швидкості різання.

Подача. Подачу призначають максимально допустимою за умовами технічних обмежень. Такими обмеженнями для подачі при чорновій обробці являються: жорсткість оброблюваної деталі, жорсткість різця, міцність державки різця, міцність різальних пластин різця, міцність механізму подачі верстата, найбільший обертальний момент, потужності головного приводу і приводу подач, граничні хвилинна подача на верстаті.

Подача при чорновому точінні зазвичай наводяться у відповідних таблицях і коригуються різними коефіцієнтами залежно від умов обробки. На верстатах з ЧПК подача при першому чорновому проході заготовки, яка має биття по торцю, зовнішньому діаметру або отвору, на ділянці входу різця зазвичай знижують на 20 — 30 %, щоб запобігти сколу різальних кромок.

Розраховані по приведених формулах подачі не мають бути менші $S_{\min}$ (найменшої хвилинної подачі на верстаті) і $S_{\text{резmin}}$ (найменшої подачі, що забезпечує нормальне різання).

Швидкість різання. При вибраних глибині різання і подачі задають таку швидкість різання, яка забезпечувала б оптимальну стійкість інструменту. Нагадаємо, що при різанні розрізняють зношування по задній і передній граням. Найчастіше за критерій зношування приймають ширину стрічки зношування по задній грані. У кожному випадку можна встановити допустимий знос, досягши якого інструмент підлягає переточуванню.

Стійкістю інструменту називається період часу його роботи між переточуваннями.

Орієнтовний допустимий знос: при чорновому точінні 1,8 мм для непереточуваних пластин 1-1,4 мм, для різців з пластинами твердого сплаву, що напаяли; при чистовому точінні 0,4-0,6 мм для твердосплавних різців.

Особливий вплив на вибір параметрів режиму різання на верстатах з ЧПК робить можливість швидко замінювати зношений інструмент новим з автоматичною його підналадкою.

В порівнянні із звичайними верстатами при виборі параметрів режиму різання для токарних верстатів з ЧПК мають бути враховані крихке руйнування твердосплавного інструменту, економічна стійкість інструменту і стабільність режимів різання.

Крихке руйнування. Твердосплавний інструмент виходить з ладу із-за зношування або крихкого руйнування. Зазвичай при виборі параметрів режиму різання для універсального устаткування з ручним управлінням крихке руйнування не розглядають. Мається на увазі, що робітник безперервно спостерігає за різанням і при викришуванні інструменту відводить різець, чим запобігає небажаним наслідкам крихкого руйнування. Верстат з ЧПК працює по напівавтоматичному циклу, а зона обробки на токарних верстатах закрита кожухом, тому викришування різця може вести до браку деталі і поломки верстата. Практика показує, що до 30 — 50 % різців виходять з ладу внаслідок крихкого руйнування. Процес викришування носить імовірнісний характер. Точно ніколи не можна сказати, чи станеться викришування інструменту в тій або іншій конкретній ситуації, можна тільки враховувати і попереджати явища, які підвищують вірогідність викришування.

Облік економічної стійкості інструменту. Режими різання визначають енергетичні витрати на обробку. Розрахунок потужності різання дозволяє правильно вибрати потужність головного приводу верстата і оцінити жорсткість технологічної системи.

Режими різання визначають також інтенсивність зношування інструменту і, отже, його стійкість T . Економічна стійкість — стійкість, яка для заданих умов обробки забезпечує найбільшу продуктивність і мінімальну вартість обробки.

На верстатах з ЧПК з автоматичною заміною інструменту економічна стійкість інструменту може бути прийнята рівною 15 — 25 мин, т. е. значно меншою, ніж на верстатах з ручним управлінням.

Це дозволяє форсувати режими і отримувати на верстатах з ЧПК велику продуктивність обробки. Проте інтенсифікація режимів підвищує вірогідність крихкого руйнування інструменту. Усунення наслідків викришування пластин вимагає значних витрат часу, а це знижує продуктивність. Якщо в цих умовах вірогідність викришування інструменту висока, то інтенсифікація режимів різання недопустима і не має сенсу знижувати економічну стійкість інструменту.

Послідовність вибору параметрів. Поправки. З урахуванням

сказаного можна рекомендувати вибирати параметри режиму різання для токарних верстатів з ЧПК в такій послідовності (для заданих умов обробки) : 1) глибину різання : 2) подачу; 3) економічну стійкість: 4) швидкість різання.

При цьому враховують рівень технологічного забезпечення, під яким розуміють створення умов, що підвищують надійність технологічної системи і стабільність процесу обробки, правильний вибір і підвищення якості заготовки, дроблення стружки, забезпечення рівномірного припуску заготовки, високу якість і правильний вибір різального інструменту, раціональне обслуговування верстата і т. д.

Приклад оформлення та розрахунку режимів різання на токарну операцію.

Розрахуємо режими різання для токарної операції 080 з ЧПК (рис. 5.7).

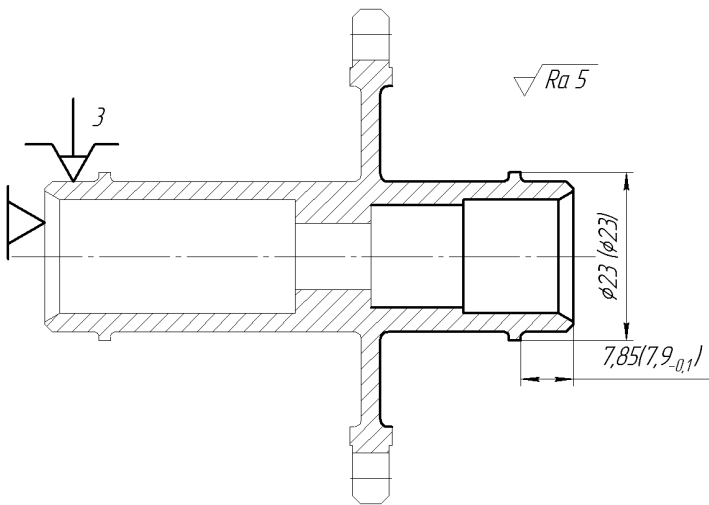


Рисунок 5.7 – Ескіз операції 080

Розрахунок подачі:

Табличну подачу визначаємо за [6, табл. 28, с. 238] залежно від глибини різання та шорсткості поверхні. Глибину різання визначаємо як припуск між операціями 015 (рис 5.8) та 080 (рис 5.7)

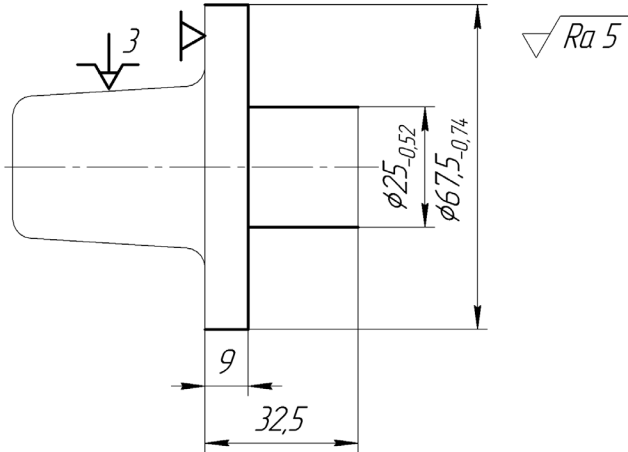


Рисунок 5.8 – Ескіз операції 080

$$t = \frac{d_3 - d_0}{2} \quad (5.12)$$

де $d_3 = 25$ мм – діаметр заготовки;

$d_0 = 23$ мм – діаметр заготовки;

$$t = \frac{25 - 23}{2} = 1 \text{ мм}$$

Маючи усі вихідні дані, знаходимо табличну подачу: $S_{\text{табл.}} = 0,33$ мм/об;

Розрахункову подачу знаходимо за формулою:

$$S_o = S_{\text{табл.}} \cdot K_{S\text{п}} \cdot K_{S\text{н}} \cdot K_{S\text{ф}} \cdot K_{S3} \cdot K_{S\text{ж}} \cdot K_{S\text{м}} \quad (5.13)$$

Поправочні коефіцієнти обираємо за [6, табл. 30, с. 239]:

$K_{S\text{п}} = 1$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні. Так як операція 080 є чистовою, то обираємо варіант обробки поверхні без корки;

$K_{S\text{н}} = 1,0$ – обробка виконується різцем із твердої сталі;

$K_{S3} = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує вплив закалки (для HRC = 44...46);

$K_{S\text{ф}} = 0,85$ – для обробки зовнішніх поверхонь;

$K_{S\text{жс}} = 0,62$ – коефіцієнт, що враховує розмір оброблювальної поверхні;

$K_{Sm} = 1,07$ – для 6 групи оброблювального матеріалу.

$$S_o = 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 0,62 \cdot 1,07 = 0,149 \text{ мм/об}$$

За паспортом верстата обираємо фактичну подачу $S_\phi = 0,2$ мм/об.

Розрахунок швидкості різання

$$V_o = V_{\text{табл.}} \cdot K_{Vn} \cdot K_{Vn} \cdot K_{V\phi} \cdot K_{VT} \cdot K_{Vж} \cdot K_{Vm} \cdot K_{Vo} \quad (5.14)$$

$V_{\text{табл.}} = 280 \text{ м/хв.}$ – для 6 групи оброблюваних матеріалів та $S_\phi = 0,2 \text{ мм/об}$ [6, табл. 38, с. 245];

Поправочні коефіцієнти обираємо за [6, табл. 43, с. 247]:

$K_{Vn} = 0,80$ – для сталі групи 6;

$K_{Vi} = 1,0$ – при обробці різцем із твердого сплаву T15K6;

$K_{V\phi} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує головний кут різця $\phi=45$;

$K_{Vm} = 1,05$ – коефіцієнт, що враховує вид обробки;

$K_{Vж} = 1,0$ – для обробки зовнішньої циліндричної поверхні при поперечному точінні;

$K_{Vm} = 0,85$ – для чорної обробки поверхні без корки;

$K_{Vo} = 1,0$ – для обробки з СОТС.

$$V_o = 280 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 1 = 190 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо частоту обертів:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 190}{3,14 \cdot 23} = 2629 \text{ об/с}$$

$n_\phi = 500 \text{ об/хв}$ – з паспарту верстата;

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 23 \cdot 500}{1000} = 187,4 \text{ м/хв}$$

5.3.2 Розробка токарної операції за допомогою програми «Unigraphics» модуль NXCAM

Відкрийте файл NX 9_Turn_Part.prt. Виконайте Файл - Новий. Виберіть вкладку Обробка, Шаблон - Токарна(Express) і натисніть ОКИ.

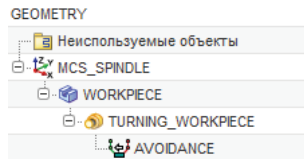


Рисунок 5.9 - Ієрархія геометричних об'єктів при ініціалізації токарної обробки

Перемкніть навігатора операцій послідовно на різні види і подивіться, які об'єкти створені. Переконайтеся, що створений два різці для зовнішнього точіння з різною геометрією різальної пластини.

Двічі клацніть по об'єкту MSC_SPINDLE для відкриття діалогового вікна завдання СКС (рис. 5.10).

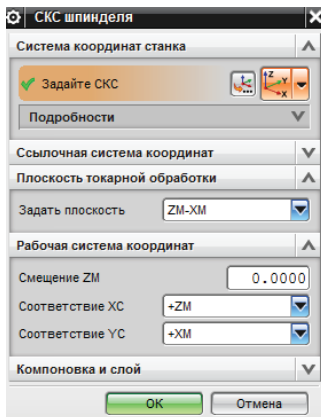


Рисунок 5.10 - Діалогове вікно завдання СКС для токарної обробки

Позиціонуйте СКС, використовуючи функцію(3) діалогового вікна і динамічні маркери, як показано. Відобразіть РСК і позиціонуйте її, як показано на рис. 5.11 (для позиціонування РСК використовується загальний функціонал моделювання). Додайте в складання новий компонент NX 9_Turn_Blank.prt з позиціонуванням по абсолютній СК.. Він використовуватиметься для завдання заготовки. Задайте деталь і заготівлю в геометричній групі WORKPIECE. Після цього вимкніть відображення компонентів в навігаторові складання і виберіть геометричну групу TURNING_WORKPIECE.

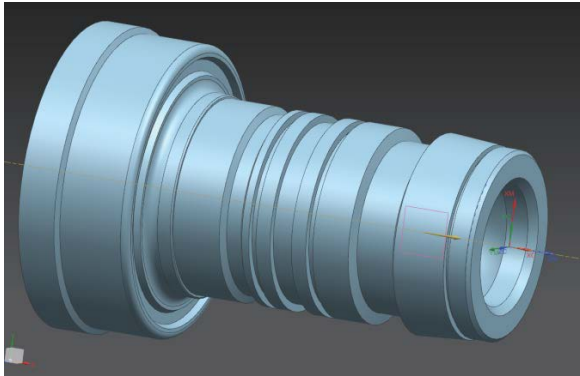


Рисунок 5.11 - Розташування СКС і РСК відносно деталі

В результаті будуть відображені перерізи деталі і заготовки, розраховані автоматично (рис. 5.12).

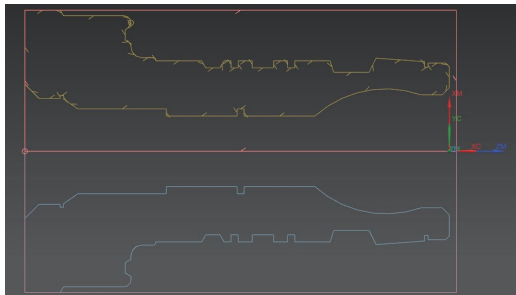


Рисунок 5.12 - Перерізи деталі і заготовки, розраховані автоматично

Токарну заготовлю необхідно задати явно прутком трубою, або тілом обертання на основі вибраної кривої. Це робиться прямо в групі TURNING_WORKPIECE (рис. 5.13). В цьому випадку заготовлю в групі WORKPIECE задавати не треба. Параметр Контур обертання(1) необхідно встановити Немає, задати заготовлю командою(2), і в новому діалоговому вікні стануть доступні явні способи завдання токарної заготовки(3). Створимо ще один геометричний об'єкт, який також не є обов'язковим, але корисний в токарній обробці. Це об'єкт CONTAINMENT (Обмеження).

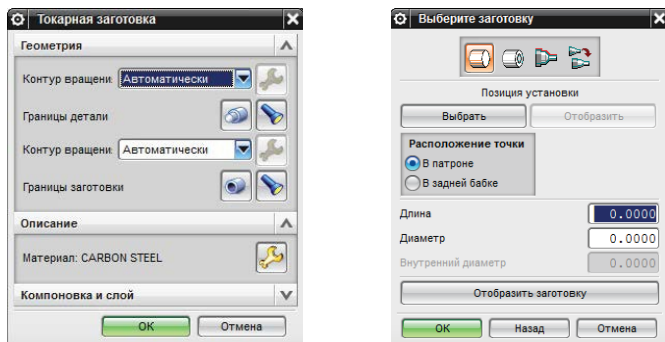


Рисунок 5.13 - Токарну заготовлю можна задати явно прутком, трубою, тілом обертання

Виконайте команду створення геометрії, в діалоговому вікні (рис. 5.14), що з'явилося, виберіть об'єкт CONTAINMENT, розташування - як показано, і двічі натисніть ОК. Об'єкт буде створений, в навігаторові операцій він буде вкладений всередину AVOIDANCE (рис. 5.15).

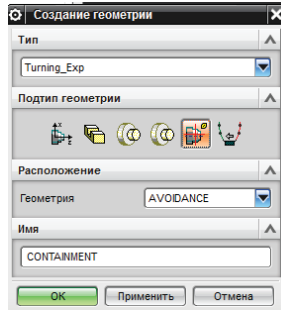


Рисунок 5.14 - Додатковий геометричний об'єкт для завдання загальних обмежень

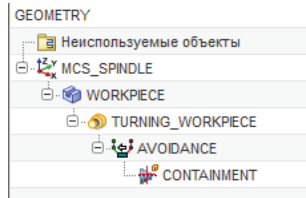


Рисунок 5.15 - Об'єкт CONTAINMENT вкладений всередину AVOIDANCE

Двічі клацніть по групі AVOIDANCE, з'явиться діалогове вікно (рис. 5.16). Задайте Початкову точку(ST) і Точку повернення(RT), як показано, і натисніть ОК. Результат ми обговоримо при створенні операції обробки.

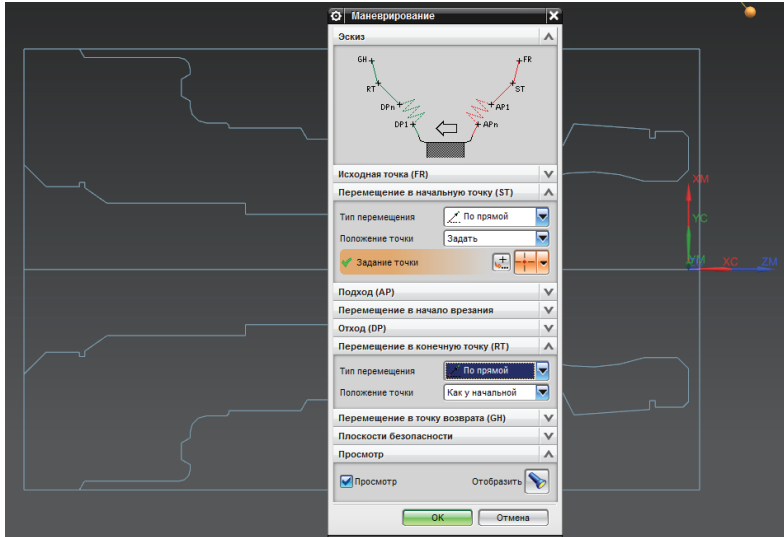


Рисунок 5.16 - Завдання початкової точки і точки повернення як загальна установка для групи операцій

Двічі клацніть по групі CONTAINMENT, з'явиться діалогове вікно (рис. 5.17). Задайте Осьову площину обрізання 1, як показано, і натисніть ОКИ.

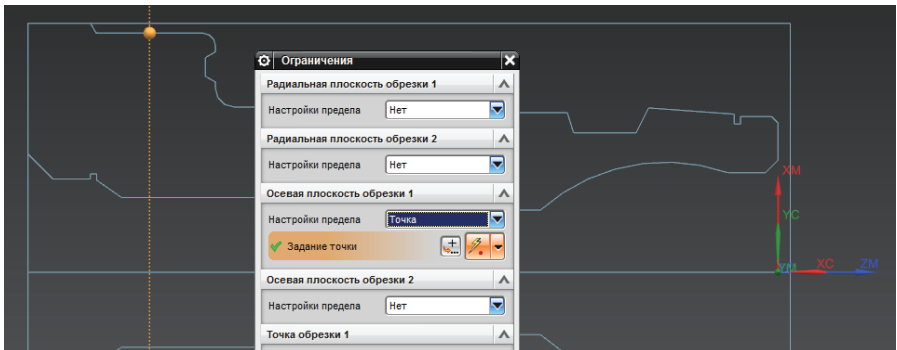


Рисунок 5.17 - Завдання обмеження як загальна установка для групи операцій

Створіть операцію Торцювання (FACING), використовуючи інструмент OD_80_L, геометрію - CONTAINMENT, метод - LATHE_FINISH, програмну групу 1234 (рис.5.18).

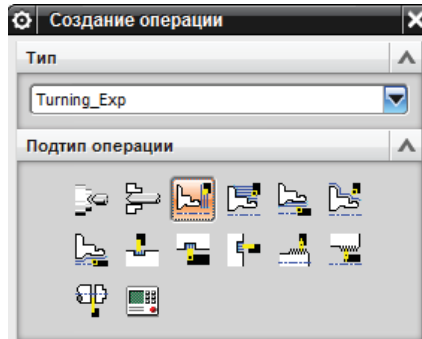


Рисунок 5.18 - Команди токарних операцій

З'явиться діалогове вікно (рис. 5.19), параметри налаштування траскторії розгорнуті в правій частині малюнка. Батьківська геометрія(1) відбита у верхній частині вікна. Стратегія за умовчанням(2) - зиг по прямій, кут 270(3) відлічується від осі ZM проти годинникової стрілки, тобто це радіальні проходи до осі деталі, крок(4) залишимо за умовчанням. Параметр Відновити ЗвПО(5) дозволяє враховувати стан заготовки після попередніх операцій. Тут нам необхідно тільки ввести нове осьове обмеження.

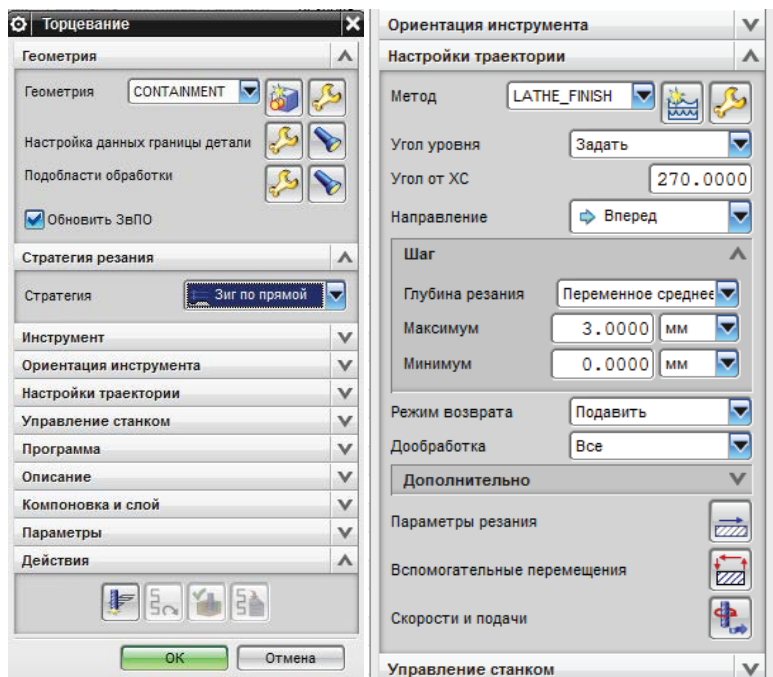


Рисунок 5.19 - Діалогове вікно команди торцювання

Виконайте команду Підобласті обробки(6), з'явиться діалогове вікно, аналогічне об'єкту CONTAINMENT, задайте нове осьове обмеження як на рис. 5.20. Натисніть ОКИ, генерувати і знову ОК. Результат операції показаний на рис. 5.21. При цьому система зафарбовує матеріал, що залишився, жовтим кольором, а матеріал, що знімається, - зеленим кольором.

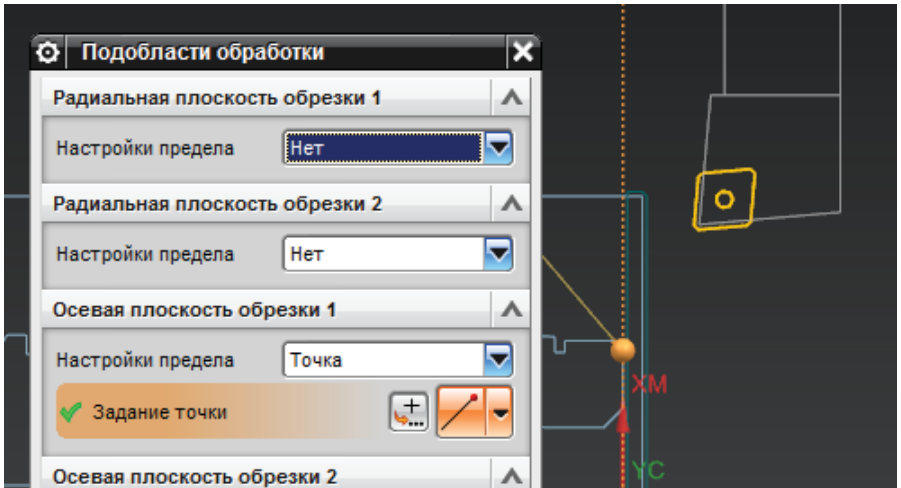


Рисунок 5.20 - Завдання області обробки як нового осевого Обмеження

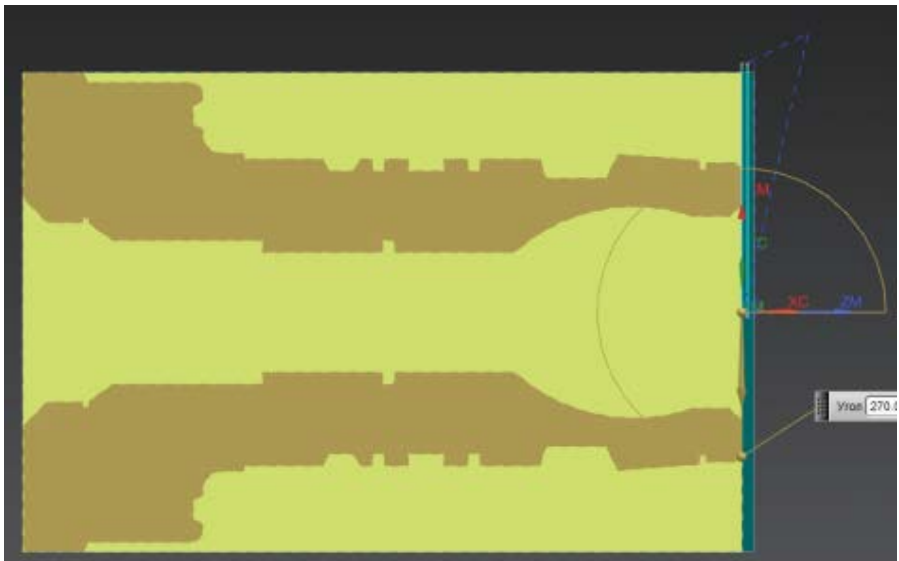


Рисунок 5.21 - Результат операції торцювання наочний на виді 2D

Створіть операцію Чорнова зовнішня обробка (ROUGH_TURN_OD), використовуючи інструмент OD_55_L, геометрію - CONTAINMENT, метод - LATHE_ROUGH, програмну групу 1234. З'явиться діалогове вікно (рис. 1.14), параметри налаштування траєкторії розгорнуті в правій частині малюнка. Стратегія за умовчанням - зиг по прямій, кут 180, тобто це осьові проходи справа наліво.

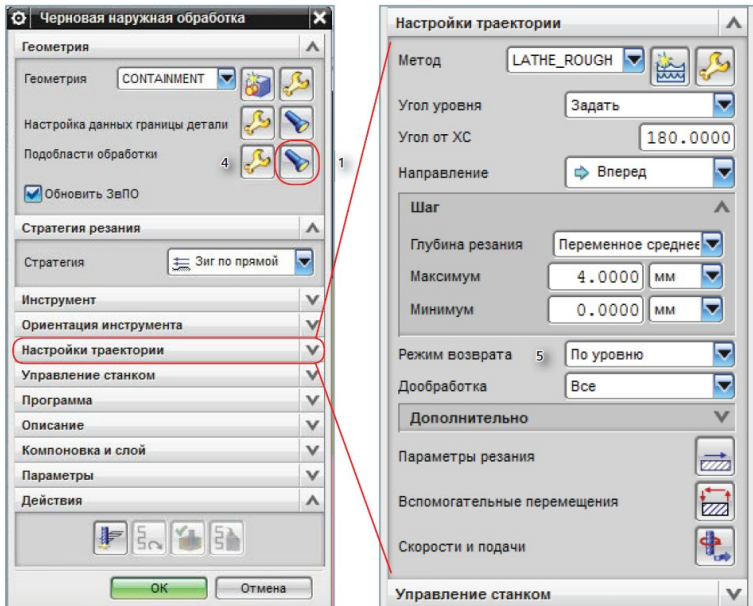


Рисунок 5.22 - Діалогове вікно операції Чорнова зовнішня обробка

Виконайте команду Відобразити Підобласті обробки(1). Розрахункова область обробки відображається в графічній області (рис. 5.23). Область обробки розраховується з урахуванням початкової точки і геометрії інструменту. Тому на екрані показані дві області, позначені 2 і 3. Для виключення області 3 введемо радіальне обмеження.



Рисунок 5.23 - Розрахункова область обробки відображається в графічній області

Виконайте команду Підобласті обробки і задайте радіальне обмеження. Область, відмічена цифрою 3, пригнічена.

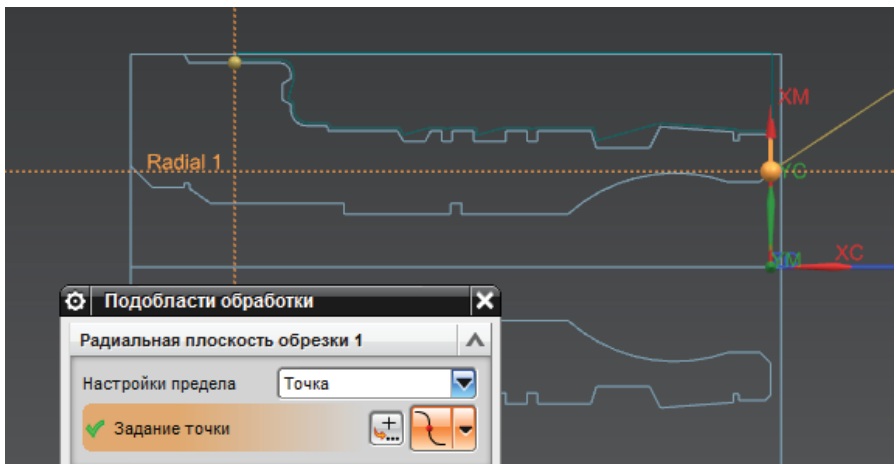


Рисунок - 5.24 - Завдання радіального обмеження для уточнення області обробки

Встановіть Режим повернення (5, рис. 5.22) в значення Подавити і згенеруйте траєкторію. Результат показаний на рис. 5.25.

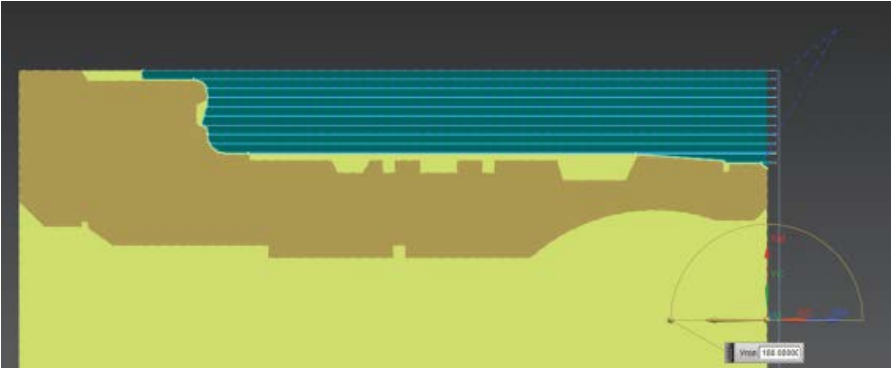


Рисунок 5.25 - Результат операції Чорнова зовнішня обробка

Для верифікації токарних траєкторій в діалоговому вікні візуалізації на вкладці Відтворення потрібно активувати параметр Видалення матеріалу в 2D (рис. 5.26) можна використати і режим 3D Динаміка за бажання. Для відображення поточного стану заготовки в 3D після будь-якої операції виконати команду Показати в 3D(1) з контекстного меню операції (рис. 5.27). Командою Зберегти як(2) можна зберегти цей стан як тверде тіло.

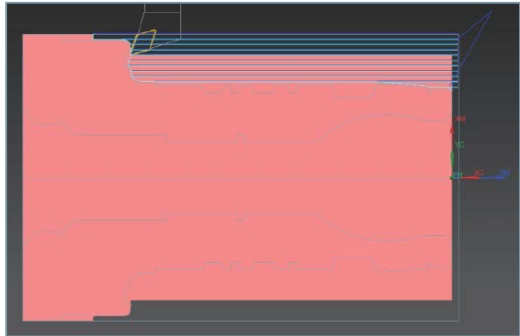
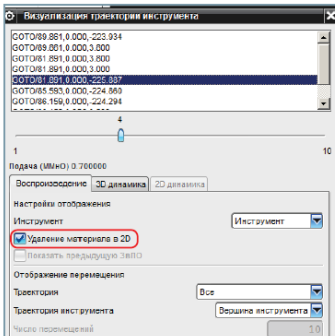


Рисунок 5.26 - Параметр Видалення матеріалу в 2D часто використовується при верифікації токарних операцій

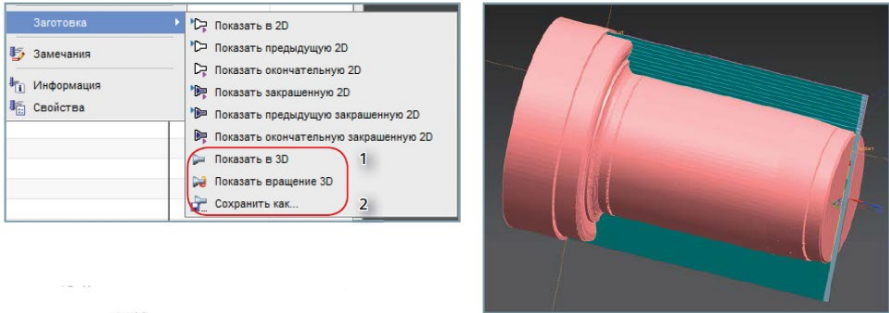


Рисунок 5.27 - Команды і результат показу поточного стану токарної заготовки в 3D

При створенні нового інструменту з'являється діалогове вікно (рис. 5.28). З'явиться нове діалогове вікно (рис. 5.29). Вікно має 4 вкладки, нам доки потрібні тільки три з них: Інструмент - де задається форма і розміри пластини, Утримувач - де задається тип і розміри утримувача, а також є параметр Використати утримувач інструменту (для програмування обробки він не обов'язковий, але потрібний для контролю зіткнень, наприклад), Трасування - де можна вибрати точку трасування (координати якої виводяться в УП). За основу візьміть інструмент OD_55_L.

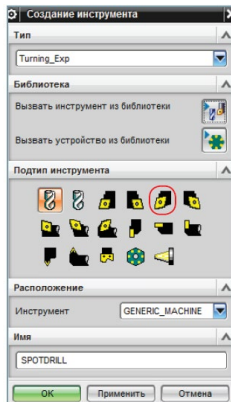


Рисунок 5.28 - Діалогове вікно створення токарного інструменту

Геометрію пластини задайте як на рис. 5.29

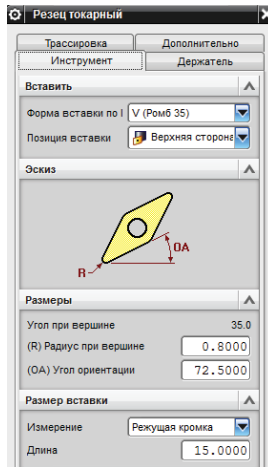


Рисунок 5.29 - Вкладка діалогового вікна для завдання геометрії різальної пластини

Задати утримувач - рис. 5.30, виберіть точку трасування P8 - рис. 5.31. Ми отримали симетричний різець, придатний для обробки канавки. Переименуйте його в OD_35_RL.

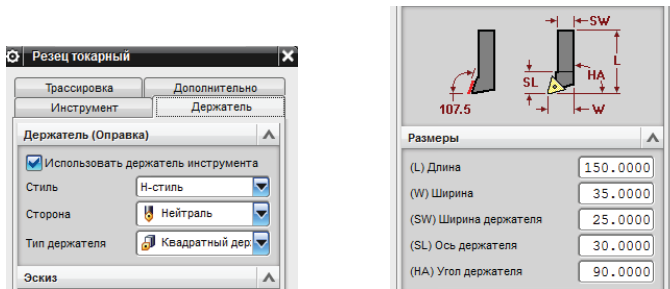


Рисунок 5.30 - Вкладка діалогового вікна для завдання геометрії утримувача

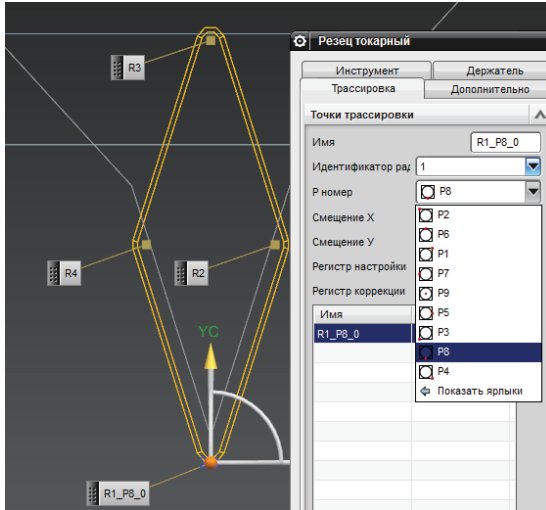


Рисунок 5.31 - Вкладка - диалогового вікна для завдання точок трасування

Створіть нову операцію чорнової токарної обробки, используя инструмент OD_35_RL, геометрию - CONTAINMENT, метод - LATHE_FINISH (без припуска), программную группу 1234.

Для руху зліва направо потрібно або задати Кут від ХС рівним 0, або задати Напряв – Реверс (рис. 5.32). Задайте Напряв - Реверс, обмеження як на малюнку і згенеруйте операцію.

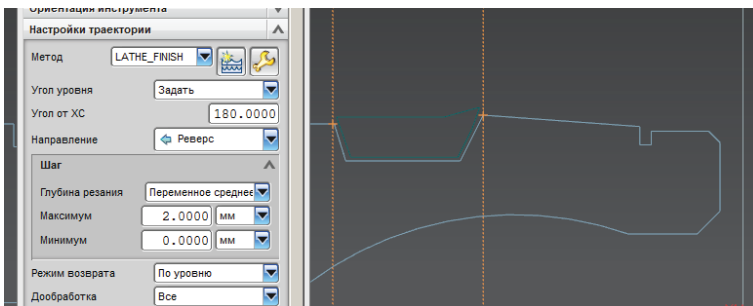


Рисунок 5.32 - Для руху зліва направо потрібно змінити кут або реверсувати напрям

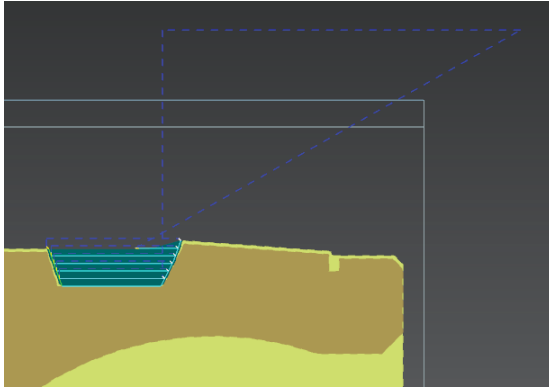


Рисунок 5.35 - Коректна траєкторія обробки проточки

5.3.3 Розробка токарного РТК

По операційному ескізу, виконаному на основі попереднього технологічного процесу відповідно до вибраних типових траєкторій руху інструменту, технолог складає розрахунково-технологічну карту. Ця карта утримує закінчений план обробки деталі на верстаті з ЧПК у вигляді графічного зображення траєкторії руху інструменту з усіма необхідними поясненнями і розрахунковими розмірами. За даними РТК технолог-програміст, не звертаючись до креслення деталі або яких-небудь інших джерел, може повністю розрахувати числову програму автоматичної роботи верстата.

Послідовність оформлення РТК :

1. Викреслюють деталь в прямокутній системі координат, вибирають вихідну точку 0 (нуль програми). При багато інструментальній обробці можуть бути вибрані декілька вихідних точок — для кожного інструменту. Контури деталі, що підлягають обробці, і контур заготівлі викреслюють потовщеною лінією в масштабі з вказівкою усіх розмірів, необхідних при програмуванні.
2. Намічають розташування притисків і зон кріплення деталі відповідно до технічних умов на пристосування.
3. Наносять траєкторію руху центру інструменту (тонкою лінією) за двома площинами системи координат. Якщо передбачається

багатоінструментальна обробка, слід зображувати траєкторії руху центру кожного використовуваного інструменту.

Початком (і кінцем) траєкторії інструменту є вихідна точка $O_{\text{інструменту}}$. Якщо положення вихідної точки не співпадає з початком координат деталі (точкою $O_{\text{деталі}}$), воно має бути задане координатами X_0, Y_0, Z_0 відносно початку координат деталі. Траєкторію інструменту наносять з урахуванням його параметрів, вибраної раніше послідовності обробки і намічених типових траєкторій в інструментальних переходах.

4. На траєкторії руху інструменту відмічають і означають цифрами (рідше буквами латинського алфавіту) опорні точки траєкторії. Опорні точки необхідно намічати за геометричними і технологічними ознаками, вони мають бути або точками, в яких змінюється геометричний характер траєкторії інструменту, або точками, в яких змінюється технологічний стан деталі (зміна режимів обробки, включення вертикального подання і ін.).

5. При необхідності вказують місця контрольних точок, в яких передбачається короткочасна зупинка інструменту в цілях перевірки точності відрізки програм робочими органами верстата. Такі точки передбачають, наприклад, перед остаточними чистовими проходами при обробці дорогих деталей. Означають також точки зупинки, необхідні для зміни інструменту, зміни частоти обертання шпинделя, перезакріплення деталі, вказують тривалість зупинки в секундах.

6. Особливо означають опорні точки, координати яких можна визначити графічно безпосередньо на РТК.

7. На РТК наносять додаткові дані (тип верстата, шифр, найменування і матеріал деталі), вказують особливості заготовки і її кріплення, параметри інструменту і режими його роботи на окремих ділянках, характер руху на окремих ділянках траєкторії.

Як один з основних технологічних документів РТК зазвичай шифрують і заносять в спеціальну картотеку.

При побудові траєкторії руху центру інструменту на РТК необхідно дотримуватися наступних правил:

1. Підводити інструмент до оброблюваної поверхні і відводити його слід (при необхідності) по спеціальних траєкторіях — допоміжних переміщеннях. Наприклад, при фрезеруванні необхідно забезпечити урізування інструменту по дотичній зі своєчасним (за 5-10 мм до краю заготівлі) переходом з холостого ходу на робочий. Певний підхід має

бути у свердел, розгорток, зенкерів, різців, причому точка переходу з холостого ходу на робочий має бути визначена як опорная.

2. Недопустимі зупинка інструменту і різка зміна подання в процесі різання, коли різальні поверхні леза стикаються з оброблюваною поверхнею, інакше неминучі ушкодження поверхні. Перед зупинкою, різкою зміною подання, підйомом або опусканням інструменту необхідно відвести інструмент від оброблюваної поверхні.

3. Довжина холостих переміщень має бути мінімальною.

4. Для усунення впливу на точність обробки люфтів верстата бажано передбачати додаткові петлеподібні переходи в зонах реверсу, що забезпечують вибірку люфту.

5. При необхідності по розрахунковій силі різання слід визначити можливу деформацію деталі (інструменту) і ввести необхідне предіскаження траєкторії.

Приклад токарного РТК показано в додатку В.

5.4 Розробка операційної технології фрезерної (свердлильної) операції.

5.4.1 Розрахунок режимів різання

Довжина робочих ходів. Точне значення сумарної довжини робочих ходів може бути визначене в результаті розрахунку УП. Тут користуватимемося наближеною оцінкою величини L_{Σ} що дозволяє в найбільш простій формі виявити якісні закономірності, що цікавлять нас.

Для зигзагоподібних схем обробки величина L_{Σ} може бути приблизно визначена по наступних формулах:

для схеми без обходу меж

$$L_{\Sigma} = \frac{F}{t} + 0,5 \times P\Sigma = Ft + 0,5 \quad (5.19)$$

для схем з проходом уздовж меж

$$L_{\Sigma} = \frac{F}{t} + 1,5 \times P \quad (5.20)$$

де F — площа оброблюваної області, мм²;

P — периметр цієї області, мм;

t — глибина фрезерування, мм.

Швидкість різання.

Швидкість різання має бути знайдена заздалегідь залежно від діаметру інструменту d прийнятої стійкості фрези T , її конфігурації і матеріалу різальної частини, числа зубів фрези z , глибини t і ширини B різання, подання на зуб s_z , роду оброблюваного матеріалу і його фізико-механичних властивостей, умов обробки і т. п.

Подача. Подача на зуб для кожного робочого ходу вибирають мінімальною з можливих.

Подача може бути знайдена або по формулах, або по таблицях відповідних довідників.

У свою чергу, продуктивність фрезерування можна охарактеризувати швидкістю знімання оброблюваного матеріалу в одиницю часу.

Залежності і обмеження тут такі ж, як і у разі токарної обробки, але при цьому зважає на специфіку фрезерування.

Приклад розрахунку режимів різання на свердлильну операцію.

Розрахуємо режими різання для свердлильної операції 075 з ЧПК (рис. 5.27).

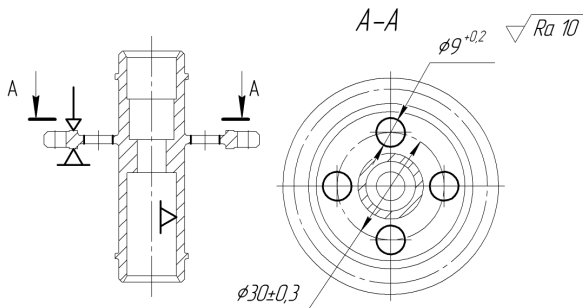


Рисунок 5.36 – Ескіз операції 075

Для свердлильної операції приймаємо припуск, який знімає одна різальна, тобто половина діаметра отвору:

$$t = \frac{d_o}{2} = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ мм};$$

$$S_o = S_{\text{табл.}} \cdot K_{Sl} \cdot K_{Sd} \cdot K_{Su} \cdot K_{Sж} \cdot K_{SM} \quad (5.21)$$

$S_{\text{табл.}} = 0,20$ мм/об [6, табл. 63, с. 266] для свердлення I групи;

Поправочні коефіцієнти обираємо за [6, табл. 65, с. 267]:

$K_{Sl} = 1,0$ – коефіцієнт, що залежить від глибини різання;

$K_{Sd} = 1,0$ – для наскрізного отвору;

$K_{Su} = 0,6$ – свердло із твердого сплаву;

$K_{Sж} = 1,0$ – жорсткість технологічної системи;

$K_{SM} = 2,0$ – для I групи свердління та VI групи сталі.

$$S_o = 0,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 2 = 0,24 \text{ мм/об}$$

За паспортом верстата обираємо фактичну подачу $S_{\phi} = 0,2$ мм/об.

Швидкість різання:

$$V_o = V_{\text{табл.}} \cdot K_{Vl} \cdot K_{Vd} \cdot K_{Vu} \cdot K_{Vm} \cdot K_{Vo} \quad (5.22)$$

$V_{\text{табл.}} = 36$ м/хв. – для 4 групи оброблюваних матеріалів [6, табл. 66, с. 269];

Поправочні коефіцієнти обираємо за [6, табл. 67, с. 270]:

$K_{Vl} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує глибину різання;

$K_{Vd} = 0,9$ – для наскрізного отвору;

$K_{Vu} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучого інструменту;

$K_{Vm} = 0,48$ – VI групи сталі;

$K_{Vo} = 0,8$ – без СОТС.

$$V_o = 36 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,48 \cdot 0,8 = 12,44 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо частоту обертів:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 12,44}{3,14 \cdot 9} = 440 \text{ об/с}$$

$n_{\phi} = 400$ об/хв – з паспарту верстата;

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 9 \cdot 400}{1000} = 11 \text{ м/хв}$$

5.4.2 Розробка фрезерної (свердлильної) операції за допомогою програми «Unigraphics» модуль NXCAM

Для розробки технологічної операції в NXCAM необхідно

попередньо створити трьовімірну модель деталі, яка б відповідала операційному ескізу розроблюваної технологічної операції. Опис етапів створення технологічної операції в NXCAM буде відбуватися на прикладі умовної деталі.

Етапи створення технологічної операції в NXCAM

Виконайте команди меню Файл - Новий; на екрані з'явиться діалогове вікно, за допомогою якого можна уточнити тип створюваного об'єкту (рис. 5.37).

Активуємо вкладку «Обработка».

Задайте тип – «Общие настройки» і натисніть ОК.

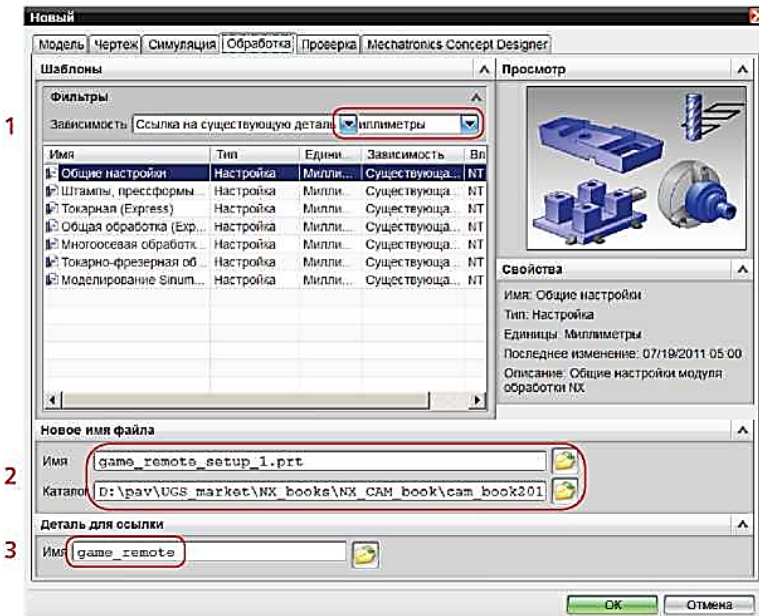


Рисунок 5.37 – Діалогове вікно «Новый»

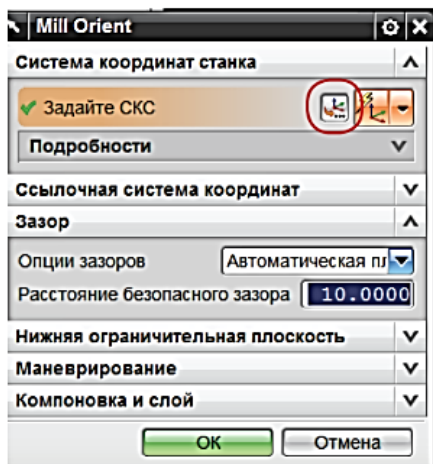


Рисунок 5.38 – Вікно «MILL Orient»

Приховайте відображення РСК. Двічі клацніть по MSC_MILL в навігаторові операцій (Вид геометрії). З'явиться діалогове вікно (рис. 5.38). Виконайте команду меню СК (показана червоною рамкою) - відкриється ще одне діалогове вікно.

Якщо встановлений тип «Динаміка», то в графічній області СКС відобразиться з динамічними маркерами, за які систему координат можна переміщати і переорієнтовувати (рис. 5.39). Захопіть СК мишкою за маркер початку СК і перемістите так, щоб вона прив'язалася до моделі, як показано на рисунку. Переорієнтацію робити нам не потрібно (для 3-осьового фрезерування вісь інструменту повинна співпадати з віссю Z). Натисніть ОК.

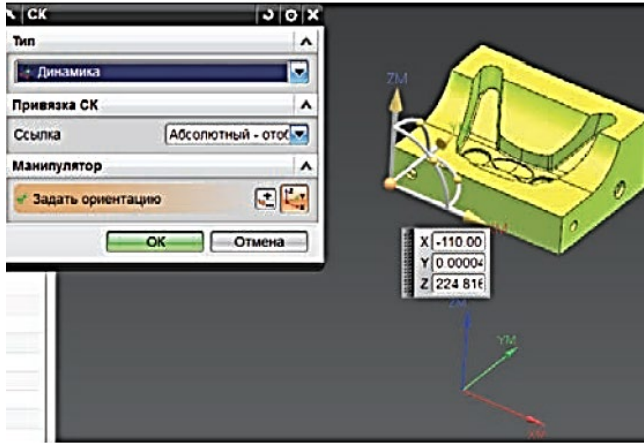


Рисунок 5.39 – Вікно «СК»

Для попередження поломки інструменту необхідно задати площину безпеки для цього необхідно в діалоговому вікні (рис. 5.39) встановити параметр «Зазор» тип Площина і виконаєте команду «Задать плоскость». У новому діалоговому вікні, де тип площини вказаний як контекстний (рис. 5.40), виберіть верхню грань моделі (рис. 5.41).

У графічній області будуть відображені тимчасова площина і маркер зміщення. Задайте зміщення 10 мм (рис. 5.41). Натисніть ОК двічі.

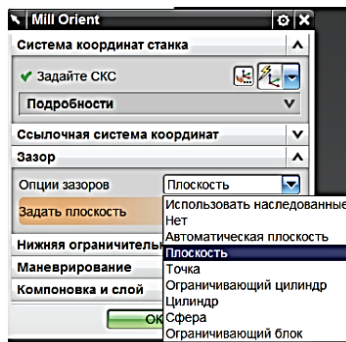


Рисунок 5.40 – Діалогове вікно «MILL Orient»

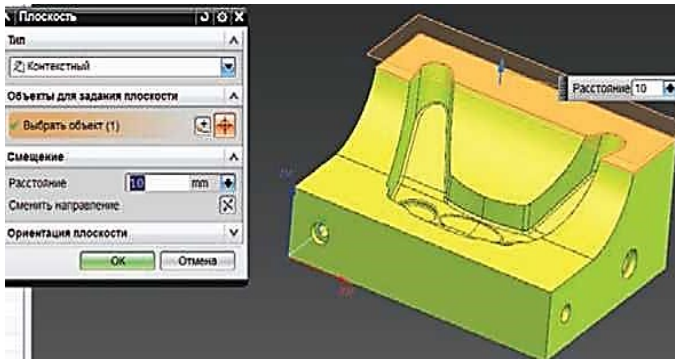


Рисунок 5.41 – Діалогові вікна «MILL Orient» та «Плоскость»

Двічі клацніть по геометричній групі WORKPIECE в навігаторові операцій. З'явиться діалогове вікно (рис. 5.42). Виконайте команду «Задать деталь» (1). Вкажіть тіло в графічній області (рис. 5.43). В принципі можна вказувати декілька об'єктів для обробки. На цьому етапі обмежимося одним об'єктом. Натисніть ОК. Виконайте команду «Задать заготовку» (позначена цифрою 2 на рис. 5.42).

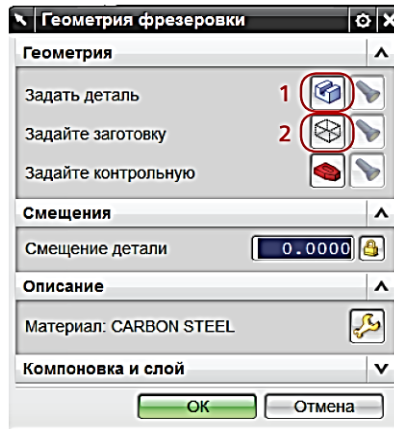


Рисунок 5.41 – Діалогове вікно «Геометрия фрезеровки»

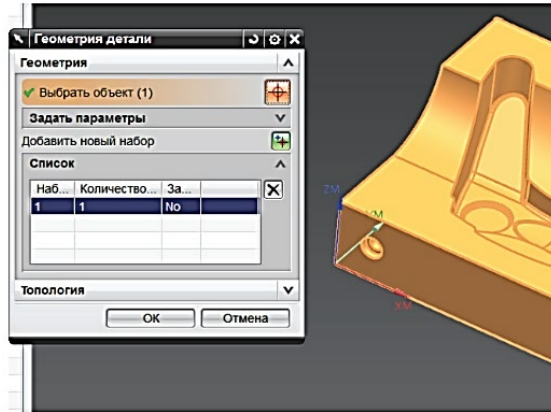


Рисунок 5.42 – Діалогові вікна «Геометрия фрезеровки» та «Геометрия детали»

Виберіть параметр «Ограничивающий блок» (рис. 5.43) тип заготовки призначається виходячи з контуру деталі. Вкажіть зміщення по Z, рівне 1 мм (величина припуску, що знімається). Його можна задати у відповідному полі діалогового вікна або зміщенням маркера в графічній області. Це зміщення потрібне для того, щоб надалі виконати чистову обробку верхньої грані.

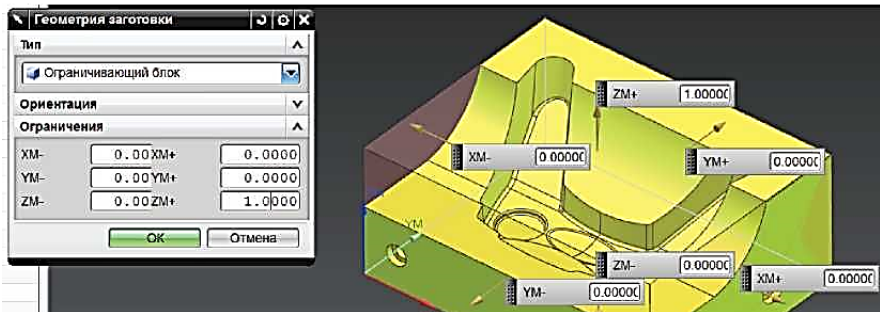


Рисунок 5.43 – Діалогове вікно «Геометрия заготовки»

Задайте різальний інструмент, використовуючи команду «Создать инструмент» цифра 2 (рис. 5.44).

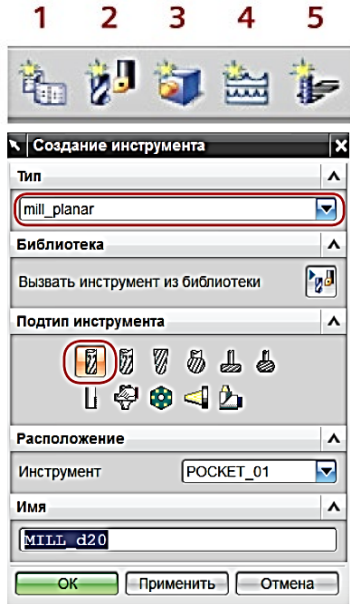


Рисунок 5.44 – Діалогові вікна «Инструменты» та «Создание инструмента»

З'явиться діалогове вікно (рис. 5.45). Інструменти згруповані по типах. Тип `mill_planar` (інструмент для фрезерування площини) нас влаштує. Підтип вказуємо `END_MILL`(кінцева фреза). В якості місця розташування вкажіть `POCKET_01`, задайте ім'я `MILL_D20`. Натисніть **ОК**.

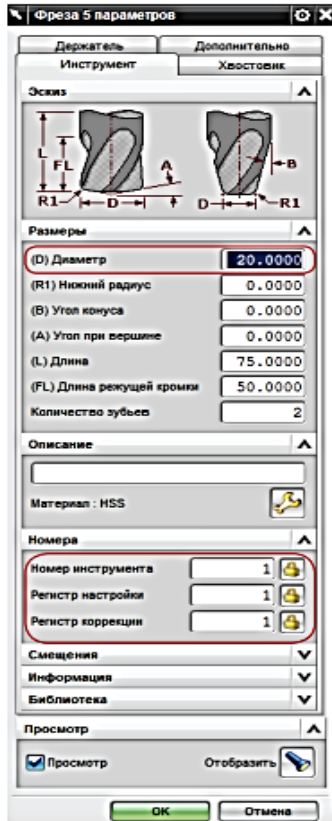


Рисунок 5.45 – Діалогове вікно «Фреза 5 параметров»

Задайте діаметр 20 мм (рис. 5.45). Інші параметри залишимо за умовчанням.

Виконайте команду «Создание операции» (позначена цифрою 5 на рис. 5.44). З'явиться діалогове вікно (рис. 5.46).

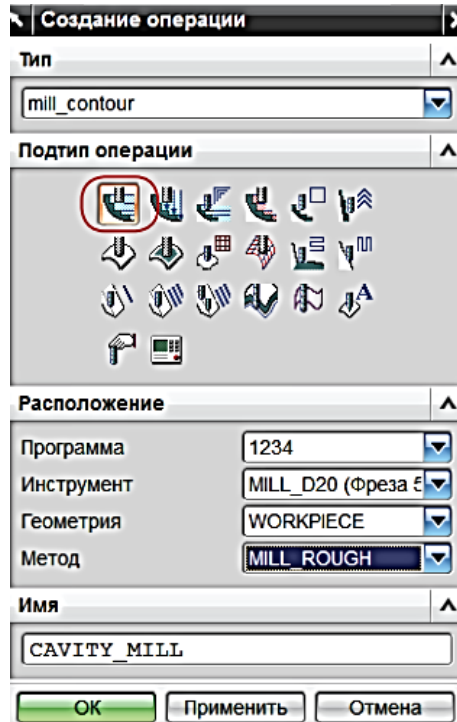


Рисунок 5.46 – Діалогове вікно «Создание операции»

Перемкніть тип на `mill_contour` і виберіть першу команду - це операція чорнової обробки `CAVITY_MILL`. У групі параметрів Розташування вказуються батьківські об'єкти для цієї операції (іншими словами, розташування операції в ієрархії об'єктів обробки). Вкажіть ці об'єкти, як на рисунку 5.46. Ім'я операції залиште за умовчанням і натисніть ОК. Використовуємо параметри операції за умовчанням і відразу виконаємо команду Генерувати (рис. 5.47). Траєкторія буде створена (рис. 5.48).

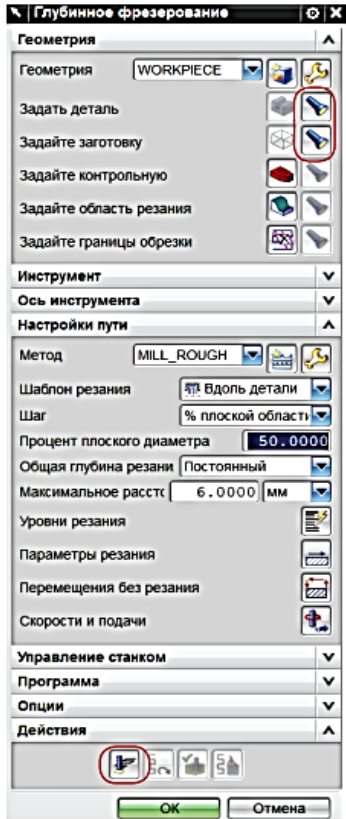


Рисунок 5.47 –
Діалогове вікно «Глубинное
фрезерование»

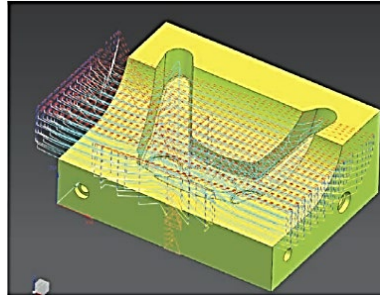


Рисунок 5.48 – Діалогове вікно
«Глубинное фрезерование»

Натисніть ОК, щоб операція зберіглася і була видна в навігаторові операцій.

Виберіть операцію CAVITY_MILL в навігаторові операцій і виконайте команду «Верификация» (позначена цифрою 3 на рис. 5.44). З'явиться діалогове вікно «Визуализация траектории инструмента» (рис. 5.49).

Перемкніться на вкладку 3D-динамика (1), зменште швидкість анімації до 4 (2) і виконаєте команду Вперед (3). Для завершення натисніть ОК.

Виберіть операцію CAVITY_MILL в навігаторові операцій і виконайте команду «Постпроцессировать» (позначена цифрою 4 на рис. 5.44). З'явиться діалогове вікно постпроцессирования(рис. 5.50).

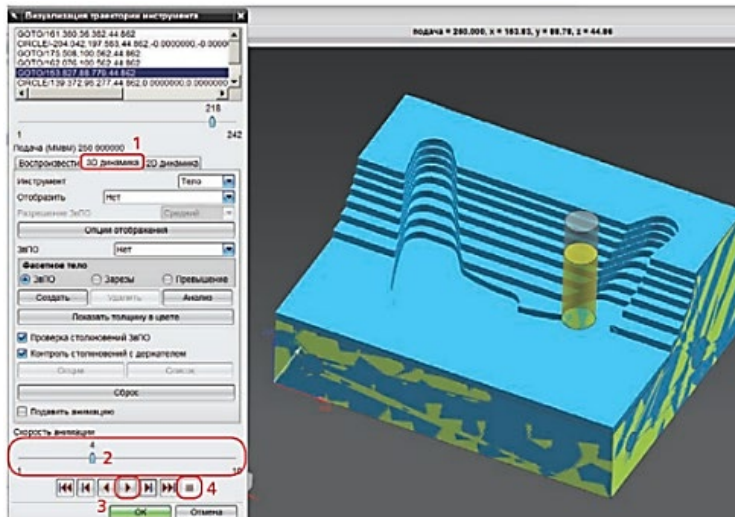


Рисунок 5.49 – Диалоговое окно «Визуализация траектории инструмента»

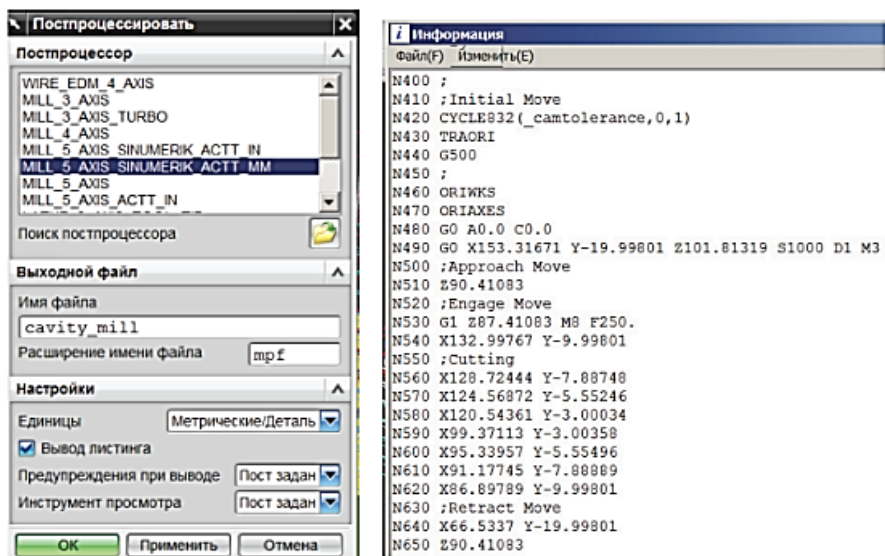


Рисунок 5.50 – Диалоговое окно «Постпроцессирование»

Виберіть постпроцесор, як на малюнку, і натисніть ОК.

Для пояснювальної записки необхідно виконати скріншота трьох етапів розробки: модель деталі, траєкторія обробки з інструментом, програма зберігається в файлі з розширенням TXT або робиться скріншот програми та вставляється в записку.

Приклад оформлення цього розділу курсової роботи.

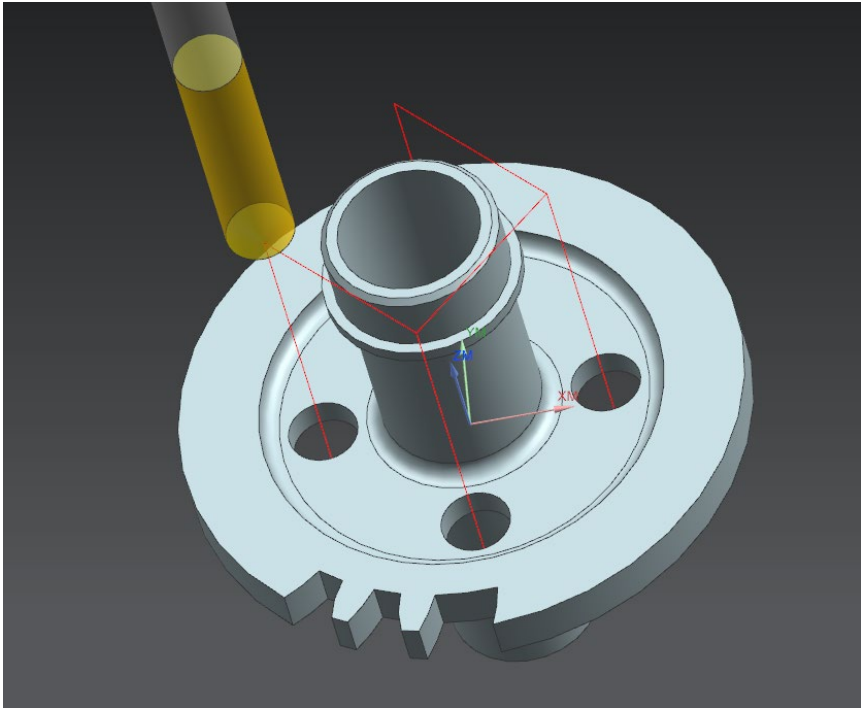


Рисунок 5.51 – Траєкторія руху інструмента

5.4.3 Розробка фрезерного РТК

Певною особливістю побудови фрезерного або свердлильного РТК є те що траєкторія центру фрези в двох площинах: $Y0X$ (плоска траєкторія основна) і $Z0X$ (висотна траєкторія). Також відмінність є в тому, що параметри інструменту виконуються текстом а не таблицею як для токарного РТК.

У загальному випадку характер траєкторії руху інструменту при виконанні фрезерної операції в першу чергу обумовлений числом керованих(у тому числі одночасно) координат і принципів управління рухом робочих органів верстата з ЧПК. Так, двокоординатне управління дозволяє інструменту рухатися (в межах робітника діапазону переміщень) до будь-якої точки площини, трьохкоординатне управління — до будь-якої точки простору.

Збільшення числа керованих координат до п'яти дає можливість наприклад, змінювати орієнтацію осі інструменту, забезпечуючи при обробці заготівлі напрям цієї осі по нормалі до оброблюваної поверхні. Залежно від числа одночасно керованих координат розрізняють прямокутне, прямолінійне і криволінійне плоске і об'ємне формоутворення.

При програмуванні технологічних переходів фрезеруванням доцільно застосовувати типові схеми обробки контурів, плоских і об'ємних поверхонь.

Приклад оформлення свердлильного РТК показано в додатку Г.

5.5 Ручна підготовка керуючої програми з використанням G та M кодів

5.5.1 Підготовка операційного ескізу

Підготовка операційного ескізу відбувається відповідно до загальних вимог створення операційних ескізів.

Деталь на ескізі зображують у такому положенні, яке вона займає при обробці на даній операції. Виділяють оброблювані поверхні потовщеними лініями товщиною $2S$ (S – товщина основної суцільної лінії). Визначають тип пристрою, базові поверхні. Зображають схематично або напівсхематично базування і кріплення заготовки у пристрої верстата. На ескізі проставляють операційні розміри з відхиленнями і налагоджувальні розміри, які використовують у подальшому при розрахунку координат опорних точок траєкторії руху інструменту. Проставлення розмірів виконується наступним чином: налагоджувальних - без дужок, операційних (в круглих дужках), заготовки [в квадратних дужках]. Вибирають початок системи відліку та осі координат з проставленням на операційному ескізі (рис. 5.52).

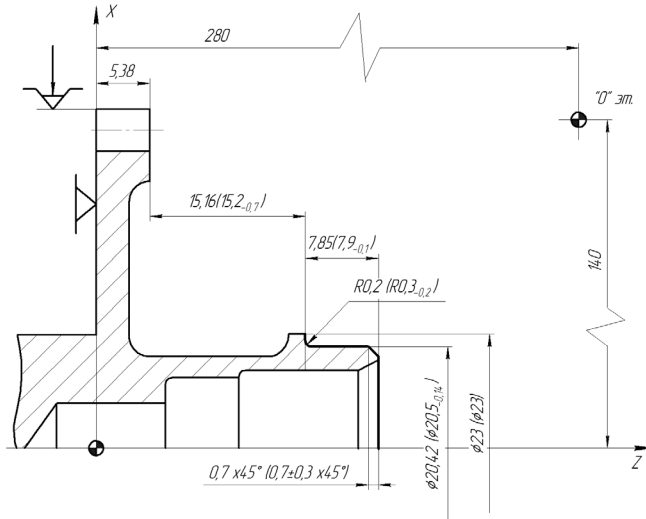


Рисунок 5.52 – Ескіз деталі з налагоджувальними, операційними та розмірами заготовки

Налагоджувальний розрахунковий розмір деталі визначається як середній розмір між граничними значеннями операційного розміру з заданими відхиленнями.

$$A_{\text{настр.}} = (A_{\text{max}} + A_{\text{min}}) / 2 \quad (5.15)$$

Наприклад, (див. рис.5.10.):

$$A_{\text{настр.}} = (56,2 + 55,9) / 2 = 65,05 \text{ [мм]}$$

Приклад розрахунку налагоджувальних розмірів.
Діаметральний розмір $\text{Ø}20,5_{-0,14}$:

$$A_{\text{настр}} = \frac{20,5 + 20,36}{2} = 20,42 \text{ мм.}$$

Лінійний розмір $15,2_{-0,7}$

$$A_{\text{настр}} = \frac{15,2+14,5}{2} = 15,16 \text{ мм.}$$

Лінійний розмір $7,9_{-0,1}$

$$A_{\text{настр}} = \frac{7,9+17,8}{2} = 7,85 \text{ мм.}$$

Лінійний розмір $0,7\pm 0,3$

$$A_{\text{настр}} = \frac{1,0+0,4}{2} = 0,7 \text{ мм.}$$

Радіальний розмір $R = 0,3_{-0,2}$

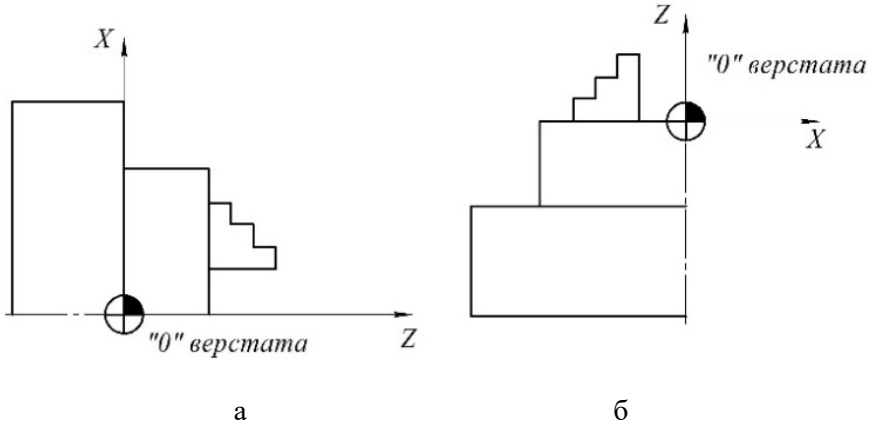
$$A_{\text{настр}} = \frac{0,3+0,1}{2} = 0,2 \text{ мм.}$$

Отримані дані заносимо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Налагоджувальні розміри

Операційні розміри, мм	Налагоджувальні розміри, мм
$\emptyset 20,5_{-0,14}$	20,42
$15,2_{-0,7}$	15,16
$7,9_{-0,1}$	7,85
$0,7\pm 0,3$	0,7
$R = 0,3_{-0,2}$	0,2

Як система координат верстатів токарної групи прийнята права система координат "X – Z". Початком системи відліку є точка перетину координатних осей X та Z. Вісь Z – звичайно вісь обертання шпинделя з деталлю, вісь X частіше всього сполучена з площиною планшайби, патрона або з базовою (установочною) поверхнею пристрою, що входить до комплекту верстата. Для верстатів фрезерної та свердлильної групи віссю обертання вісь Z – вісь обертання шпинделя з інструментом, вісь X – сполучена з опорною площиною пристрою.



а – для токарних верстатів з горизонтальною віссю обертання; б – для фрезерних, вертикально-розточувальних і карусельних верстатів;

Рисунок 5.53 – Система координат верстата

Позитивний напрямок осей (показано стрілками) обирається в залежності від розміщення інструментального блоку або різцетримача з інструментом, що встановлені на супорті відносно деталі.

Частіше всього позитивний напрямок осей обирається таким чином, щоб більшості переміщень інструменту здійснювались у позитивному напрямку (рис. 5.53). Це обумовлено тим, що при роботі верстата в абсолютних координатах величини координат опорних точок інструмента повинні бути завжди позитивними.

Система координат деталі може змінюватись і проходити через поверхні базування деталі на верстаті і через поверхні (отвори), відносно яких задані розміри (рис. 5.54).

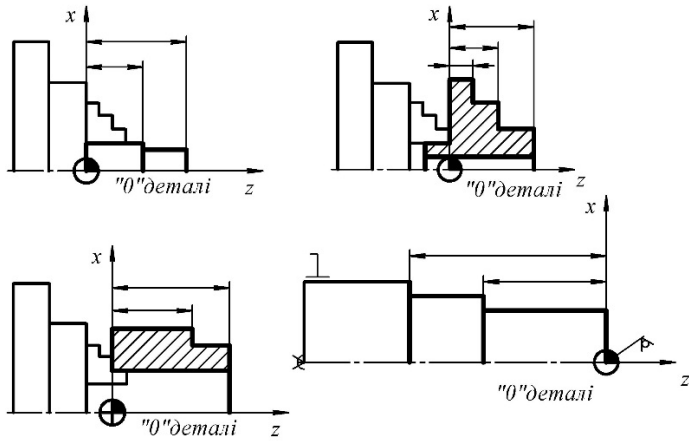


Рисунок 5.54 – Приклади розташування системи координат деталі відносно

Визначають (задають) координати еталонного блоку, оправки або центру різцетримача і проставляють на операційному ескізі.

Еталонний інструментальний блок або оправка служать для визначення вихідної точки кожного із інструментів шляхом визначення їх вильотів відносно еталону або центру різцетримача.

Вихідне (нульове) положення еталона і кожного з інструментів визначається "нульовим" положенням супорта. "Нульове" положення супорта може бути фіксованим, тобто його положення визначається кінцевими вимикачами, що обмежують переміщення по кожній із осей, або "плаваючим", коли його положення визначається умовами обробки деталі. "Нульова" точка супорта - це у більшості випадків положення супорта, при якому відбувається зміна інструментів (зміна інструментальних блоків, поворот різцетримача або револьверної головки на другу позицію).

Визначення параметрів настроювання і орієнтації інструментів

На практиці проводити відлік переміщень від "нульової" точки супорта нерационально, тому звичайно використовують поняття "нуль" еталона, інструмента або різцетримача. "Нуль" еталона – це переріз точно оброблених взаємно перпендикулярних поверхонь призми, встановленої у блоці (рис. 5.55). "Нуль" інструмента – центр радіуса

скруглення вершини різця; для свердл, зенкерів та розверток - це крайня точка, що лежить на осі інструмента.

Для учбових цілей допускається задавати координати еталону або центру різцетримача довільно, з урахуванням габаритів робочої зони верстата і максимальної величини переміщень супорта.

Нульова точка інструмента (еталона) віддалена від початку координат на величину базових відстаней X_e , Z_e (рис.5.56).

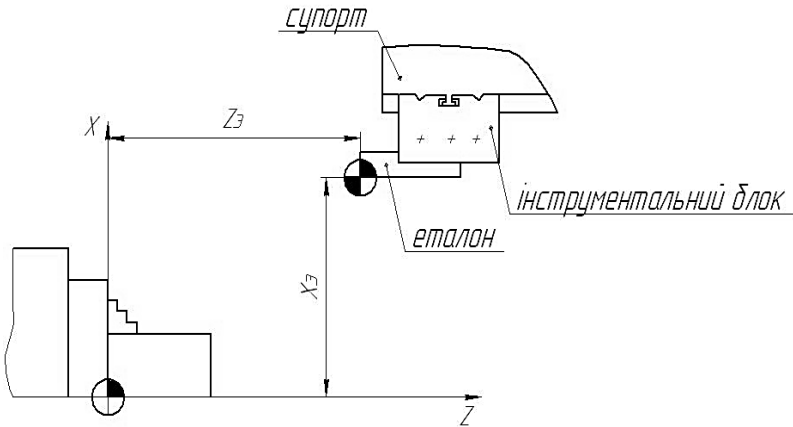


Рисунок 5.56 – Зображення нульової точки еталону

Визначають налагоджувальні параметри (вильоти) кожного інструменту (рис. 5.57, 5.58) відносно еталона і октант J, у якому знаходиться різальна кромка:

$$A_{im} = X_{em} - X_{im} \text{ [мм];} \quad (5.16)$$

$$B_i = Z_{em} - Z_{im} \text{ [мм].} \quad (5.17)$$

Значення A і B можуть бути зі знаком (+) або (-). Параметр розміщення радіуса j може приймати значення від 1 до 8 (рис. 5.58).

Кожному інструментальному блоку присвоюють номер і параметри настройки заносять до таблиці (див. приклад РТК у додатку 2).

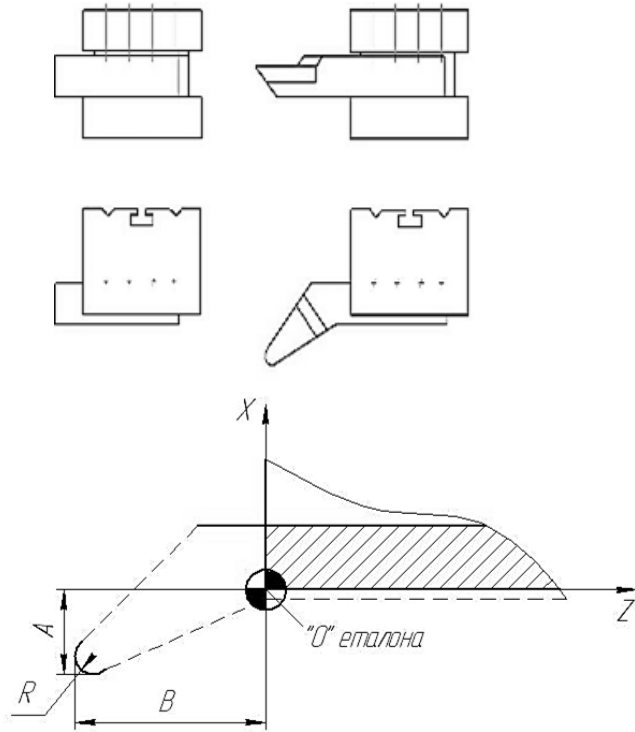
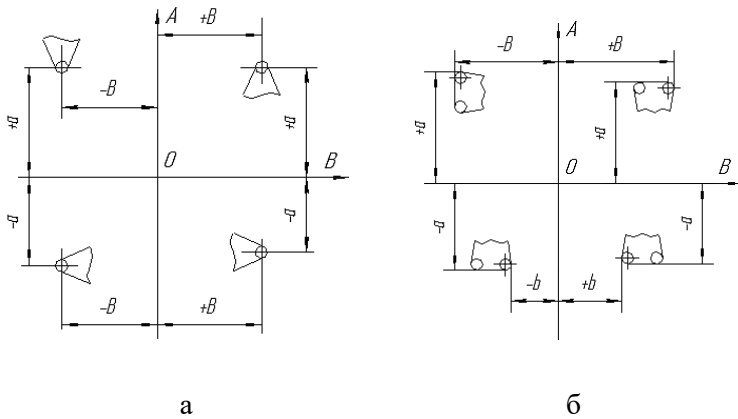
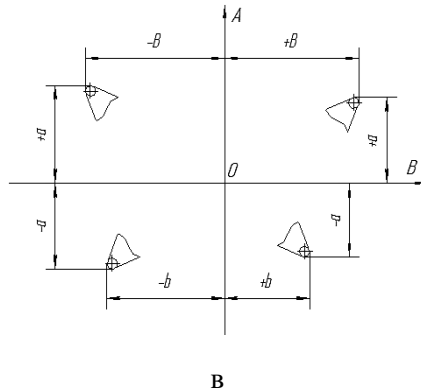


Рисунок 5.57 – Зображення вильотів інструменту





В

а – вильоти для прохідного різці; б – вильоти для канавочних різців; в – для підрізних різців

Рисунок 5.58 – Зображення вильотів інструменту

Настройка інструментів, тобто "прив'язування" геометричних параметрів інструмента до системи координат верстата, провадиться зовні робочої зони верстата на спеціальному приладі типу ББ-20ІС і зводиться до визначення вильотів інструментів відносно еталона (А і В) та їх орієнтації (параметр j) (рис. 5.58).

Параметри настройки інструментів відраховуються відносно еталонного інструмента, тобто його точно оброблених взаємно перпендикулярних поверхонь. Визначаються вильоти (А,В) відносно "нуля" еталона і положення (орієнтація) радіуса скруглення різальних кромek інструмента (параметр j). Для цього:

1) Встановлюють еталонний блок у посадочне місце пристрою мікроскопа і закріплюють. При спостереженні в окуляр екран мікроскопа поділений на чотири частини (октанти) двома взаємно перпендикулярними лініями (рис. 5.59). З допомогою маховичків, які переміщують екран відносно блока, суміщають перехрестя окуляра мікроскопа з гранями еталонної призми (рис. 5.59). За шкалою лінійок, які відповідають осям X і Z і відповідним їм ноніус-ким шкалам, визначають координати еталона на мікроскопі $X_{ет}$, $Z_{ет}$ з точністю до 0,01 мм. Після цього еталонний блок знімають.

2) По черзі на прилад встановлюють інструментальні блоки і в аналогічній послідовності провадять визначення координат

Хім та Зім кожного з інструментів відносно "нуля" мікроскопа. для різців прохідних, розточник і прорізних кромочний радіус повинен бути вписаний в один з октантів екрану (рис. 5.59), тобто взаємно перпендикулярні лінії повинні бути дотичними до кромочного радіуса. Для свердл і підрізних різців одна лінія повинна бути дотичною до радіуса, а друга - умовно розсікати кромку на дві рівних частини (рис. 5.59).

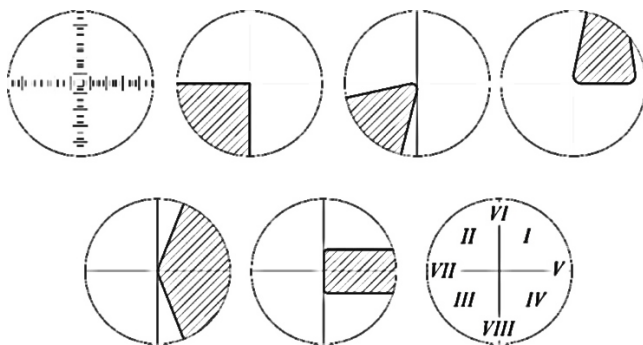


Рисунок 5.59 – Налаштування розташування інструменту на інструментальному мікроскопі

Складання плану обробки. Особливість технології з використанням ВЧПК - високий рівень концентрації операцій, тобто можливість суміщення в межах однієї операції: різних методів обробки (свердлення, точіння, розточування та ін.) різними інструментами, достатньо великої кількості технологічних переходів і робочих проходів інструменту при обробці кожної з поверхонь.

Звичайно при проектуванні операції, що виконується на ВЧПК, є велика кількість всіляких варіантів і поєднань планів і методів обробки, але з будь-якому випадку повинен бути обраний найбільш раціональний з них.

В кінцевому підсумку на характер побудови плану обробки впливають такі фактори: точність і якість поверхонь, вимоги до їх взаємного розміщення, обсяг партії деталей, що виготовляються, форма поверхні та доступність інструмента для її обробки, розміри і матеріал заготовки, жорсткість деталі, технологічні можливості верстата та ін. За браком досвіду можна керуватись типовою і традиційною побудовою

плану при обробці найбільш типових деталей (валів, втулок, фланці з дисків, шестірень та ін.) на універсальних верстатах.

Порядок проектування плану і деякі рекомендації

Визначають методи обробки поверхонь з урахуванням можливостей даного верстата.

Попередньо визначають тип інструментів для обробки кожної з поверхонь (різець, свердло і т.д.).

Креслять в ескізах план - етапи послідовного формотворення всіх поверхонь деталі з урахуванням конфігурації і розмірів заготовки, що поступає на операцію. При цьому на ескізах проставляють розміри з граничними відхиленнями оброблених поверхонь (довжині, діаметральні та ін.) для кожного закінченого етапу обробки.

При складанні плану можна використовувати такі рекомендації:

1) обробку доцільно починати з торцевої поверхні (якщо дана обробка не була передбачена на попередній операції) при цьому, в подальшому відлік всіх виконуваних довжинних розмірів буде провадитись від обробленої виміральної бази.

2) якщо передбачена обробка отвору в суцільній заготовці, то доцільно використовувати попереднє центрове свердління;

3) при обробці поверхонь отвору, попередньо одержаного на заготовчій операції, прийнятними методами можуть бути розсвердлювання, зенкерування, розвертання, розточування (однократне або багато прохідне);

4) діаметр свердління отвору перед розточуванням повинен обиратись таким чином, щоб забезпечити свердління стандартним інструментом, виключити несприятливі явища при свердлінні (надто низька стійкість, великі зусилля різання, надмірне нагрівання, поломка, заклинювання свердла та ін.), і в той же час забезпечити мінімально необхідний припуск під остаточне розточування;

5) при великій кількості оброблюваних заготовок остаточну обробку (кінцевий прохід) не рекомендується провадити мірним або фасонним інструментом (свердла, зенкери, розвертки, прорізнi різці, ширина яких дорівнює ширині паза), щоб виключити залежність точності розміру від зношення мірного інструменту. Наприклад, більш переважним є розточування отвору, якщо розміри останнього забезпечують доступність для розточувального інструмента; розмір ширини канавки або паза рекомендується забезпечувати декількома послідовними врізаннями прорізного різця, що меншин за розміром.

Визначають загальний припуск всіх поверхонь деталі, оброблюваних на кожному етапі плану обробки (різниця між розміром поверхні заготовки і остаточним розрахунковим [налагоджувальним] розміром поверхні деталі).

Призначають кількість проходів, за які може бути проведене знімання припуску, і величину глибини різання за кожний прохід.

При цьому враховувати таке. Розточування і точіння можна проводити за двома основними схемами. З одному випадку загальний припуск ділиться на невелике число проходів з великою глибиною різання на чорнових проходах і дещо меншою - на чистовому: обробку ведуть послідовно чорновим, а на останньому проході - чистовим різцем. Така схема може бути більш переважною при досить великій партії оброблюваних заготовок.

В іншому випадку загальний припуск ділиться на відносно велике число приблизно рівних за глибиною проходів із залишенням малого припуску під чистовий прохід: обробку ведуть одним інструментом при "щадних" режимах.

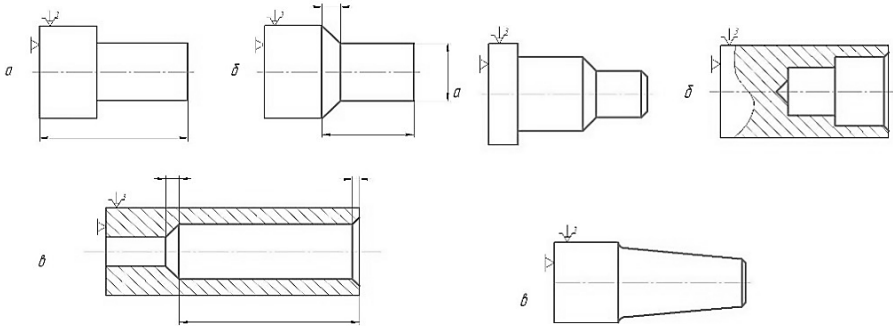


Рисунок 5.60 – Приклади формоутворення оброблюваних поверхонь

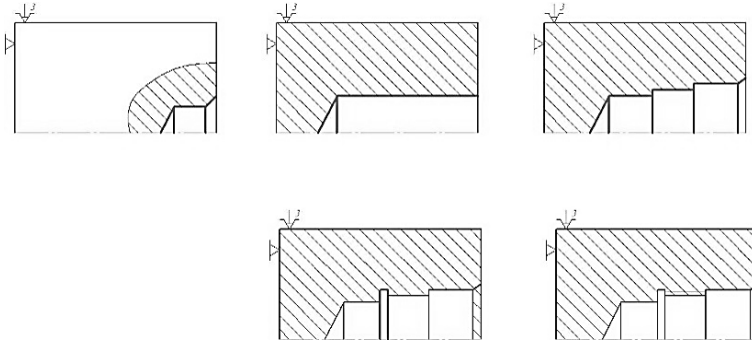


Рисунок 5.61 – Приклад формотворення внутрішніх поверхонь послідовне центрування, свердління розточування, прорізування канавки, нарізання різі

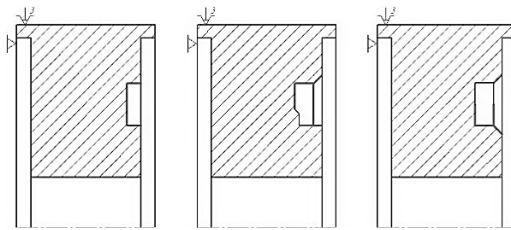


Рисунок 5.62 – Приклад формування кільцевої канавки прорізними контурними різцями

Наприклад (рис.5.63), план обробки заготовки (прутка) на операції складається з трьох етапів:

1. Підрізання торця 1

Загальний припуск $Z_0 = 86 - 83,85 = 2,15$ мм.

Обробка за один прохід $t=Z_0=2,15$ мм.

2. Точіння зовнішньої поверхні 2 і обробка торця 3 з перехідним радіусом R2.

Поверхня 2: $Z_0 = (60 - 50)/2 = 5$ мм. Обробка у два проходи - $t(1) = 3$ мм, $t(2) = 2$ мм Поверхня 3: після зовнішнього точіння залиште припуск $t = 1$ мм під обробку торця 3 у розмір 38,85 мм за один прохід. Обробити поверхню 3 і галтель R2.

3. Точіння поверхонь 2,3,4 і галтелі R3. Поверхня 2: $Z_0 = (50 -$

$45,94) / 2 = 2,03\text{мм}$. Обробка у два проходи - $t(1) = 1,5\text{мм}$, $t(2) = 0,53\text{мм}$.
 Поверхня 3: $Z0 = 39,85 - 38,85 = 1\text{мм}$. Обробка в один прохід $t = 1\text{мм}$.
 Поверхня 4: зняти фаску $3 \times 45^\circ$ за один прохід перед виконанням другого проходу для поверхні 2.

Вибирають інструменти і визначають режими обробки.

Остаточню уточнюють тип інструменту його конструкцію, матеріал і геометрію різальної частини. Призначають режими різання по кожному робочому проходу. Встановлюють кількість інструментів при обробці за декілька проходів.

Тип і конструкція інструмента вибираються з урахуванням: конфігурації деталі, доступності для обробки, конструкції і розмірів різцетримача, інструментального блока, револьверного блока та ін. [1—4].

Матеріал і геометрію різальної частини вибирають так само, як і при розробці звичайної механічної операції, тобто із врахуванням: матеріалу і твердості деталі, умов обробки (чорнова, чистова, використання ЗОР тощо [2,3].

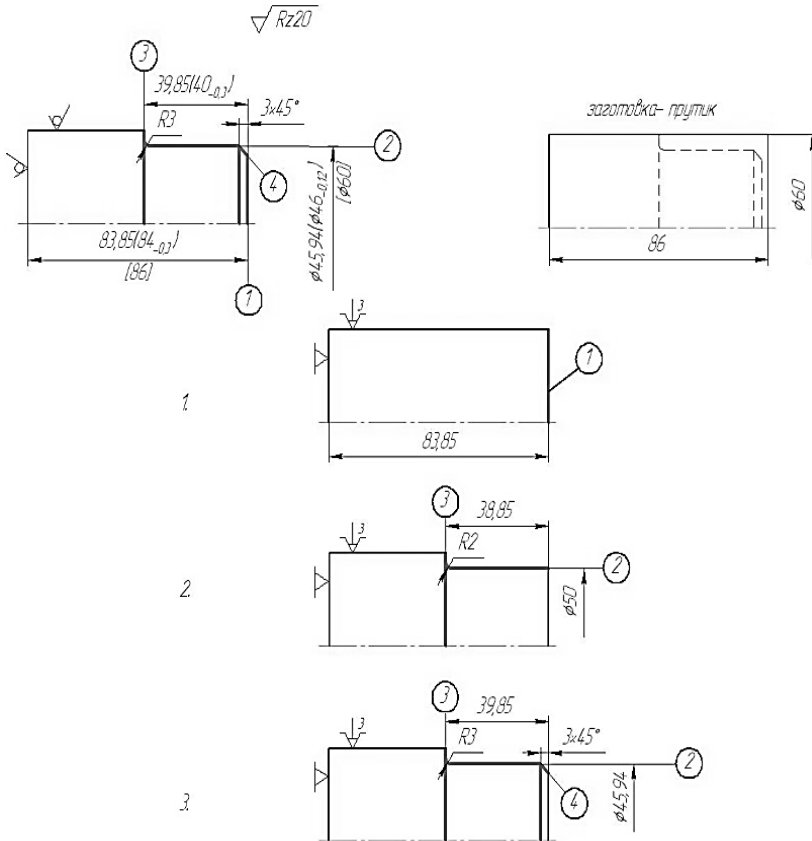


Рисунок 5.63 – Приклад плану обробки прутка

При використанні різців з різальною частиною з твердого сплаву рекомендується застосовувати змінні пластини з механічним кріпленням.

Доцільно передбачати засоби для сколювання стружки (стружколоми, спеціальні канавки та ін.).

Призначення режимів різання провадиться з урахуванням рекомендацій і нормативів [2,3] для кожного проходу і кожної оброблюваної поверхні.

Слід враховувати: розміщення різальних кромek інструмента при призначенні напрямку обертання шпинделя, а при призначенні

частоти його обертання - тил регулювання швидкості (ступінчастий або безступінчастий).

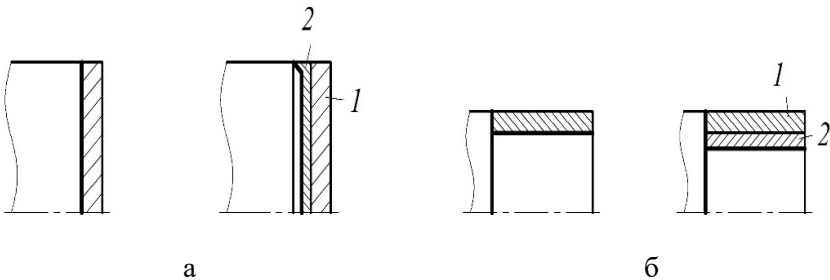
При високих вимогах до точності і якості торцевих поверхонь великого діаметру (дисків, фланців, тарілок та ін.) обробку доцільно проводити з постійною швидкістю на верстатах із безступінчастою (плавною) зміною частоти обертання шпинделя.

Розробка траєкторії руху інструментів

Розробляють схему зняття припуску по проходах для кожної поверхні і кожної позиції інструмента з урахуванням форми і точності оброблюваної поверхні, геометрії і доступності інструмента; креслять ескізи.

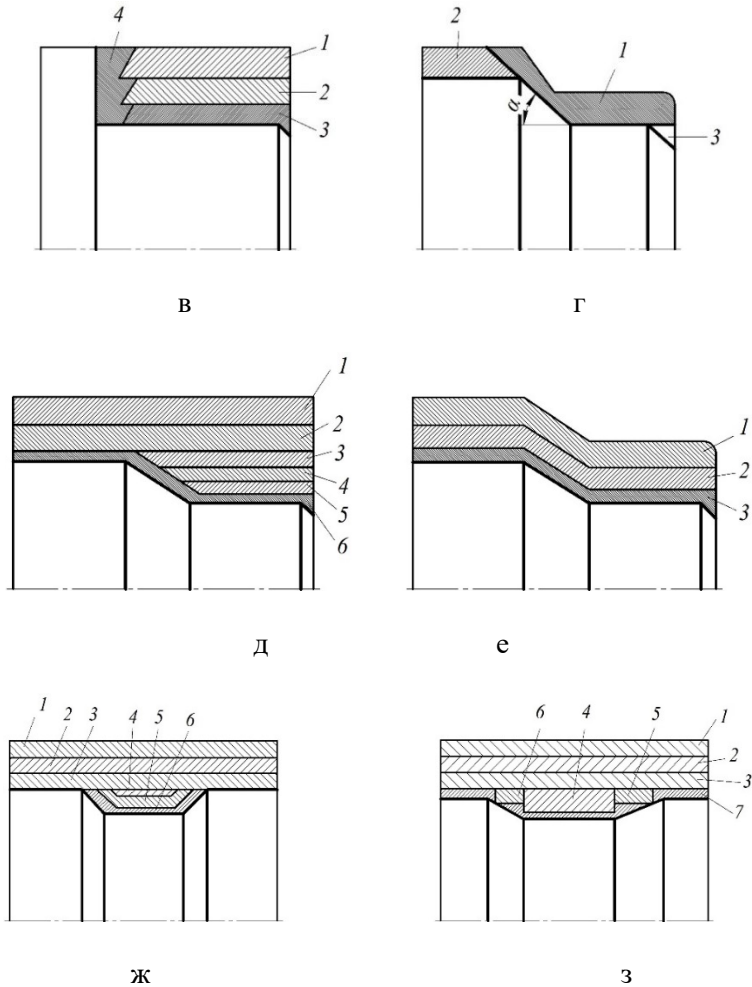
Типові схеми зняття припусків для різних поверхонь подані на рис.5.64. Слід звернути увагу на деякі особливості при розточуванні "глухих", попередньо просвердлених отворів. Можливі і інші, відмінні від представлених, варіанти обробки.

Призначають площину безпеки (дільниця безпечного швидкого підходу інструмента до поверхні), до якої інструмент від вихідної позиції рухається на максимальній подачі холостого ходу S_{xx} . При точінні визначають площину безпеки на відстані 5-20 мм від найбільш виступаючого торця деталі або іншої поверхні.



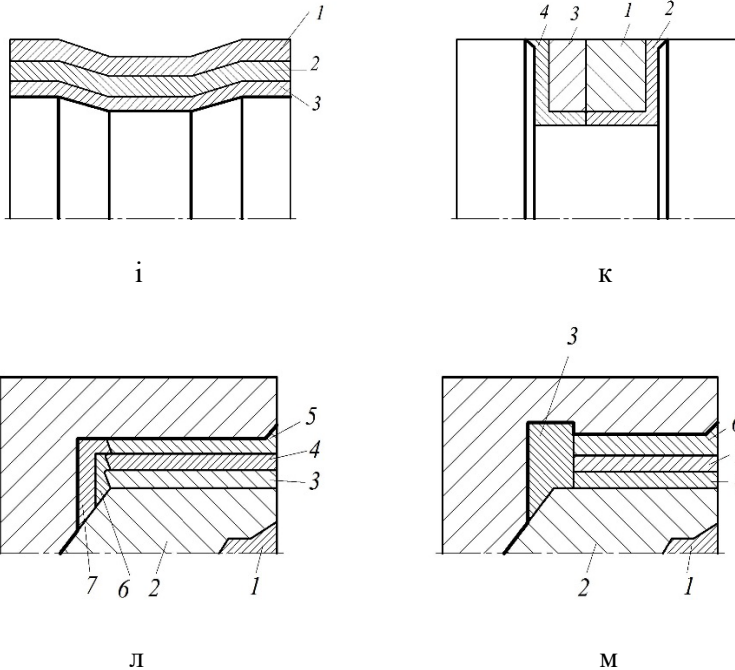
а – обробка торця в один і два проходи; б – зовнішнє точіння в один і два проходи;

Рисунок 5.64 - Типові схеми зняття припусків для різних поверхонь



в – обробка в три проходи з точінням фаски і підрізкою східця; г – точіння заготовки, що повторює конфігурацію деталі ($\varphi=\alpha$); д – заготовка пруток, обробка за схемою «вибірка»; е – заготовка, що повторює конфігурацію деталі, обробка за типом «еквідистанта»; ж – утворення фасонної поверхні при точінні прутка за схемою «вибірка»; з – формування фасонної поверхні різними типами різців;

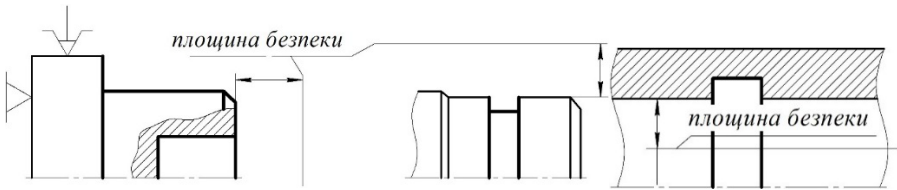
Рисунок 5.65 - Типові схеми зняття припусків для різних поверхонь (продовження)



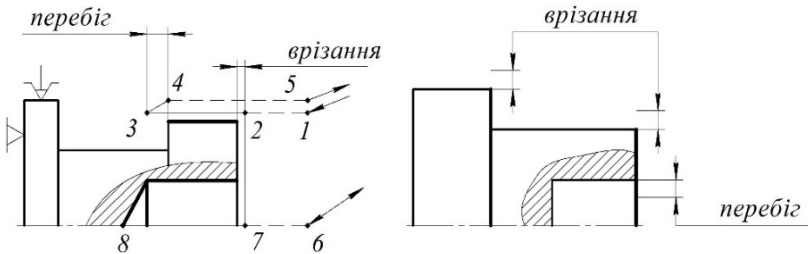
і – точіння фасонної поверхні з заготовки, що повторює конфігурацію деталі з схемою «еквідистанта»; к – проточування канавки прорізним різцем; л – послідовне центрування, свердління, розточування з обробкою фаски і «денця» отвору; м – послідовне центрування, свердління, обробка «денця» і канавки прорізним різцем, розточування.

Рисунок 5.66 – Типові схеми зняття припусків для різних поверхонь (продовження)

Призначають також величини врізання і перебігу інструмента з урахуванням розгону-гальмування і недопустимості співударянь інструмента з деталлю або пристроєм при швидких переміщеннях (рис.5.67). Призначають контрольні точки для технологічного зупину (вистою), вимірювання зношення інструмента, введення скидання корекції, вимірювання режимів і ін.



а



б

а – приклади розташування площини безпеки; б – приклади розташування врізання та перебігу.

Рисунок 5.67 – Приклади розташування зони безпеки та траєкторії врізання

Розробляють оптимальну траєкторію руху кожного з інструментів, а також беручи до уваги величину і траєкторію "відскоків", швидких підходів-відводів інструмента.

Траєкторія руху інструмента складається з окремих ділянок, розділених опорними точками. Опорні точки визначають зміну геометричних або технологічних характеристик траєкторії.

Геометричні характеристики - зміна напрямку або виду руху (по прямій лінії або по дузі окружності). Технологічні характеристики - зміна подачі, обертів, введення-виведення коректорів, включення-виключення МОП та ін.

При обробці поверхні за один прохід лінія робочого ходу відступає від контуру деталі на величину радіуса інструмента R_n . Якщо обробка провадиться за декілька проходів, то еквідистанта відступає від контуру деталі на величину:

$$H = R_i + \sum_{i=2}^n Z_i \quad (5.18)$$

де R_i - радіус інструмента, мм;

$\sum_{i=2}^n Z_i$ - величина припуску, що залишається під наступні після

виконуваного проходу, мм;

i - номер проходу;

n - загальне число робочих проходів.

Наприклад: обробка в три проходи ($n=3$):

$$Z_1 = 3 \text{ мм}; Z_2 = 1,5 \text{ мм}; Z_3 = 0,5 \text{ мм}; R_i = 0,8 \text{ мм};$$

Для першого проходу:

$$H_1 = R_i + Z_2 + Z_3 = 0,8 + 1,5 + 0,5 = 2,8 \text{ [мм]};$$

Для другого проходу:

$$H_2 = R_i + Z_3 = 0,8 + 0,5 = 1,3 \text{ [мм]};$$

для третього проходу:

$$H_3 = R_i = 0,5 \text{ [мм]}.$$

Величини "відскоків" інструмента від оброблюваної поверхні після завершення проходу приймають звичайно $0,5 = 2,0$ мм. Кут "відскоку" приймається рівний 90° при обробці "на прохід", або 45° при обробці "в упор". Необхідно пам'ятати, що зупинка інструмента в

металі без плавного відводу, з також різка зміна подачі під час обробки можуть призвести до викривлення форми поверхні або до зміни шорсткості.

Далі проводять нумерацію опорних точок, починаючи з вихідної точки кожного інструменту, креслять ескізи. Типові траєкторії при обробці різних поверхонь показані на рис.5.68.

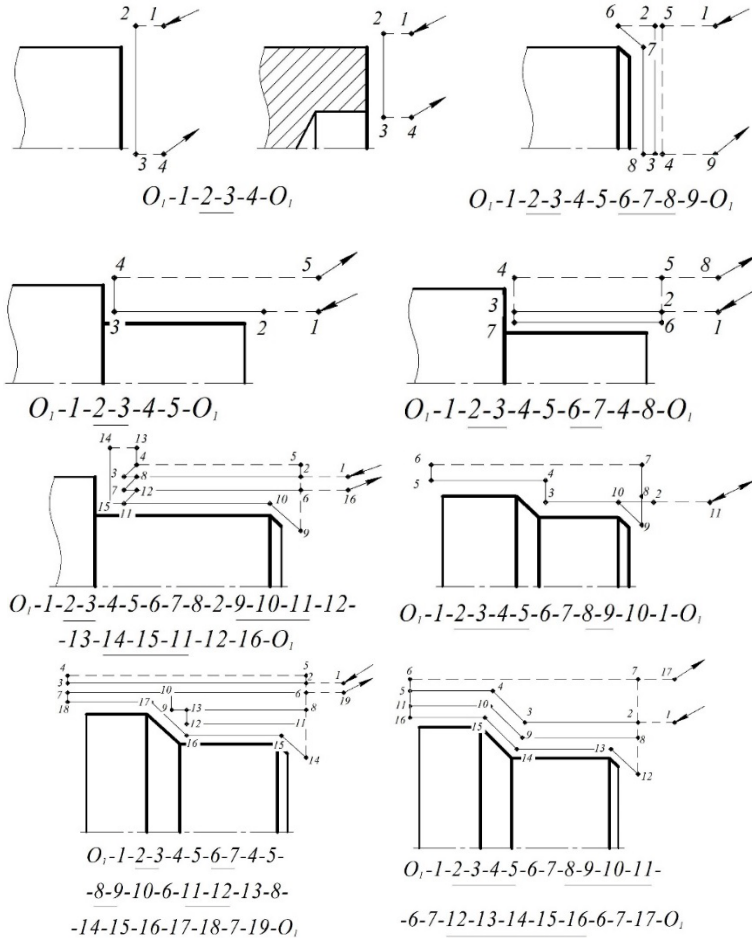
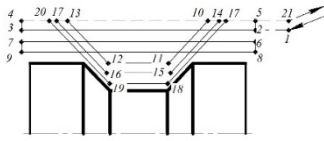
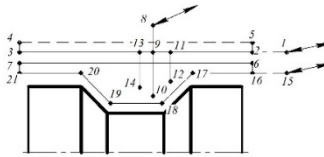


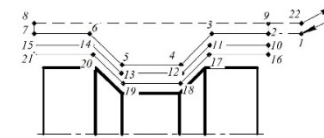
Рисунок 5.68 – Приклади траєкторії обробки поверхонь



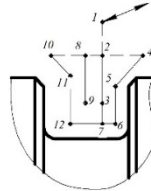
O_1 -1-2-3-4-5-6-7-4-
 -5-8-9-4-10-11-12-13-
 -14-15-16-17-18-19-
 -20-21- O_1



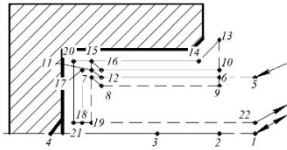
O_1 -1-2-3-4-5-6-7-3-1- O_1 ;
 O_2 -8-9-10-9-11-12-11-13-14-
 13-9-8- O_2 ;
 O_3 -15-16-17-18-19-20-21-3-1- O_3 ;



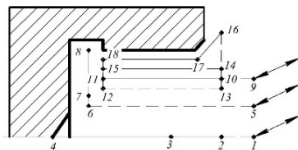
O_1 -1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-
 -14-15-8-9-16-17-18-19-20-21-8-22- O_1



1-2-3-2-4-5-6-7-2
 -0-9-8-10-11-12-7-2-1- O_1



O_1 -1-2-3-2-4- O_1
 O_1 -5-6-7-8-9-10-11-12-6-13-14-
 5-16-17-18-19-15-20-21-22- O_1



O_1 -1-2-3-1- O_1
 O_2 -1-2-4-1- O_2
 O_3 -5-6-7-8-6-5- O_3
 O_4 -9-10-11-12-13-14-15-
 11-16-17-18-11-9- O_4

Рисунок 5.68 Приклади траєкторії обробки поверхонь (продовження)

Проводять остаточну раціональну компоновку необхідних видів, позиції і траєкторій РТК на аркуші стандартного формату" в масштабі, який потрібен для чіткого і наочного зображення переміщень інструментів.

У лівому нижньому куті аркуша креслиться операційний ескіз

деталі з обраною системою координат. Оброблювані поверхні виділяються потовщеними лініями. Зазначаються технологічні бази, шорсткість поверхні, розрахункові налагоджувальні розміри, координати "нуля" еталонного інструмента.

Над штампом у правому куті аркуша креслиться таблиця налагодження інструменту.

У збільшеному масштабі для кожного інструмента креслиться ескіз оброблюваної поверхні і траєкторії руху. Траєкторія руху кожного інструмента виділяється своїм кольором. Якщо інструменту небагато і траєкторії їх руху не є складними, то припускається їх зображення на одному ескізі.

5.5.2 Розробка траєкторії руху інструментів, розрахунок координат та прирощень опорних точок, призначення технологічних команд, підготовка карти технологічної інформації

Розробка траєкторії руху інструмента

Призначаємо площину безпеки на відстані 20 мм від торця 1. Величини врізання приймаємо 3 мм, величини відскоків 0,5 мм.

Викреслюємо згідно схеми зняття припусків для кожної поверхні траєкторії руху кожного інструмента, присвоюємо номери опорних точкам.

Приклад опису траєкторії блок № 01: 01-1-2-3-4-01.

Проводимо остаточну компоновку РТК. У лівому нижньому куті розміщуємо операційний ескіз у правому куті над штампом - таблицю настроювання інструментів. Решту поля креслення займають збільшені види частин операційного ескізу де зображується поверхні, що оброблюються та траєкторія обробки.

Розраховуємо координати і прирощення координат опорних точок траєкторій, починаючи з вихідної точки кожного інструмента, і заносимо до карти технологічної інформації.

Наприклад:

Точка 1:

$$X_1 = \left(\frac{23}{2} + 1,2 \right) \cdot 200 = 2540 \text{ імп (12,70 мм);}$$

$$Z_1 = (20,54 + 7,85 + 10) \cdot 100 = 3839 \text{ імп (38,39 мм);}$$

Точка 2:

$$X_2 = X_1 = 2540 \text{ імп (12,70 мм);}$$

$$Z_2 = (20,54 + 7,85 + 0,2) \cdot 100 = 2859 \text{ імп (28,59 мм);}$$

Точка 3:

$$X_3 = 2 \cdot 200 = 400 \text{ імп (2 мм);}$$

$$Z_3 = Z_2 = 2859 \text{ імп (28,59 мм);}$$

Точка 4:

$$X_4 = X_3 = 400 \text{ імп (2 мм);}$$

$$Z_4 = (20,54 + 7,85 + 0,2 + 0,5) \cdot 100 = 2909 \text{ імп (29,09 мм);}$$

Точка 5:

$$X_5 = X_2 = \left(\frac{20,42}{2} + 0,2 + 0,15 \right) \cdot 200 = 2112 \text{ імп (10,56 мм);}$$

$$Z_5 = Z_4 = 2909 \text{ імп (29,09 мм);}$$

Точка 6:

$$X_6 = X_5 = 2112 \text{ імп (10,56 мм);}$$

$$Z_6 = (20,54 + 0,2 + 0,15) \cdot 100 = 2089 \text{ імп (20,89 мм);}$$

Точка 7:

$$X_7 = X_1 = 2540 \text{ імп (12,70 мм);}$$

$$Z_7 = Z_6 = 2089 \text{ імп (20,89 мм);}$$

Точка 8:

$$X_8 = X_7 = 2540 \text{ імп (12,70 мм);}$$

$$Z_8 = Z_4 = 2909 \text{ імп (29,09 мм);}$$

Точка 9:

$$X_9 = 9,09 \cdot 200 = 1818 \text{ імп (9,09 мм);}$$

$$Z_9 = Z_8 = 2909 \text{ імп (29,09);}$$

Точка 10:

$$X_{10} = \left(\frac{20,42}{2} + 0,2 \right) \cdot 200 = 2082 \text{ імп (10,41 мм);}$$

$$Z_{10} = 27,77 \cdot 100 = 2777 \text{ імп (27,77 мм);}$$

Точка 11:

$$X_{11} = X_{10} = 2082 \text{ імп (10,56 мм);}$$

$$Z_{11} = (20,54 + 0,2) \cdot 100 = 2074 \text{ імп (20,74 мм);}$$

Точка 12:

$$X_{12} = 11,18 \cdot 200 = 2336 \text{ імп (11,18 мм);}$$

$$Z_{12} = Z_{11} = 2074 \text{ імп (20,74 мм);}$$

Точка 13:

$$X_{13} = X_7 = 2540 \text{ імп (12,70);}$$

$$Z_{13} = 19,22 \cdot 100 = 1922 \text{ імп (19,22).}$$

Для роботи у відносній системі координат по координатам опорних точок розраховуємо прирощення за формулами:

$$\Delta x_i = x_{ci} - x_{ci-1}$$

$$\Delta z_i = z_{ci} - z_{ci-1}$$

де x_{ci} , z_{ci} - текущие значения, імп.;

$i = x_{ci-1}$, z_{ci-1} - координати попередньої точки, імп.

Заповнюємо таблицю технологічної інформації (приклад - таблиця 5.5): заносимо № опорних точок траєкторій, № інструментальних блоків, величини координат і прирощень у імпульсах, зазначаємо величини подач для всіх ділянок траєкторії, у

т.ч. і прискорення зазначаємо всі необхідні команди управління верстатом і процесором.

Таблиця 5.5 – Таблиця технологічної інформації

№	S, мм/об	n, об/хв	Зміна блока	X, імп	Z, імп	ΔX , імп	ΔZ , імп	Приміт.
0 ₁		500	01					Блок№1
1	xx			2540	3839	-	-	Вкл. шпинд., Вкл. корект.
2	0,8			2540	2859	0	-980	Вкл. СОЖ
3	0,2			400	2859	-2140	0	-
4	0,8			400	2909	0	50	-
5	0,8			2112	2909	1712	0	-
6	0,2			2112	2089	0	-820	-
7	0,2			2540	2089	428	0	-
8	0,8			2540	2909	0	820	-
9	0,8			1818	2909	-722	0	-
10	0,2			2082	2777	264	-132	-
11	0,2			2082	2074	0	-703	-
12	0,2			2336	2074	254	0	-
13	0,2			2540	1922	204	-152	-
1	0,8			2540	3839	0	191 7	Вимк. корект., СОТС
0 ₁	xx							Вимк. Шпинд.

За допомогою програмування в G кодах і паспорту ВЧПК готуємо керуючу програму.

Кожна УП починається символами % LF і закінчується символом або кадром з функцією M 102.

Кадр починається з номера кадра, який програмується адресом N і номером з 001 по 999.

За номером кадра йде при необхідності підготовча функція G, яка визначає режим роботи пристрою ЧПК. У таблиці 5.6 приведені основні коди.

Таблиця 5.6 - Коди підготовчих основних команд

Коди	Опис	Приклад
G00 - G04	Позиціонування інструменту	
G17 - G19	Перемикання робочих площин(XY, XZ, YZ)	
G20 - G21	Не стандаризовано	
G40 - G44	Компенсація розміру різних частин інструменту(довжина, діаметр)	
G53 - G59	Перемикання систем координат	
G80 - G84	Цикли свердління, нарізання різі	
G90 - G92	Перемикання систем координат(абсолютна, відносна)	

Таблиця 5.7 – Коды основних команд

Коди	Опис	Приклад
1	2	3
G00	Прискорене переміщення інструменту(холостий хід)	G0 X0 Y0 Z100;
G01	Лінійна інтерполяція	G01 X0 Y0 Z100 F200;
G02	Кругова інтерполяція по годинниковій стрілці	G02 X15 Y15 R5 F200;
G03	Кругова інтерполяція проти годинникової стрілці	G03 X15 Y15 R5 F200;
G04	Затримка на Р мілісекунд	G04 P500;
G10	Задати нові координати для початку координат	G10 X10 Y10 Z10;
G11	Відміна G10	G11;
G15	Відміна G16	G15 G90;
G16	Перемикання в полярну систему координат	G16 G91 X100 Y90;
G20	Режим роботи в дюймовій системі	G90 G20;
G21	Режим роботи в метричній системі	G90 G21;
G22	Активувати установлений межу переміщень(Верстат не вийде за їх межу).	G22 G01 X15 Y25;
G23	Відміна G22	G23 G90 G54;
G28	Повернутися на референтну точку	G28 G91 Z0 Y0;
G30	Підняття по осі Z на точку зміни інструменту	G30 G91 Z0;
G40	Відміна компенсації розміру інструменту	G1 G40 X0 Y0 F200;
G41	Компенсувати радіус інструменту ліворуч	G41 X15 Y15 D1 F100;
G42	Компенсувати радіус інструменту справа	G42 X15 Y15 D1 F100;
G43	Компенсувати висоту інструменту позитивно	G43 X15 Y15 Z100 H1 S1000 M3;
G44	Компенсувати висоту інструменту негативно	G44 X15 Y15 Z4 H1 S1000 M3;
G53	Перемкнутися на систему координат верстата	G53 G0 X0 Y0 Z0;
G54 - G59	Перемкнутися на задану оператором систему координат	G54 G0 X0 Y0 Z100;
G68	Поворот координат на потрібний кут	G68 X0 Y0 R45;
G69	Відміна G68	G69;
G80	Відміна циклів свердління(G81 - G84)	G80 Z100;
G81	Цикл свердління	G81 X0 Y0 Z - 10 R3 F100;
G82	Цикл свердління із затримкою	G82 X0 Y0 Z - 10 R3 P100 F100;

Таблиця 5.7 – Продовження

1	2	3
G83	Цикл свердління з відходом	G83 X0 Y0 Z - 10 R3 Q8 F100;
G84	Цикл нарізування різі	G95 G84 X0 Y0 Z - 10 R3 F1.411;
G90	Абсолютна система координат	G90 G21;
G91	Відносна система координат	G91 G1 X4 Y5 F100;
G94	F(подання) - у форматі мм/хв.	G94 G80 Z100;
G95	F(подання) - у форматі мм/о.	G95 G84 X0 Y0 Z - 10 R3 F1.411;
G98	Відміна G99	G98 G15 G90;
G99	Після кожного циклу не відходити на «підхідну точку»	G99 G91 X10 K4;

Таблиця 5.8 – Коды допоміжних (технологічних) команд

Коди	Опис	Приклад
M00	Призупинити працю верстата до натиснення кнопки «старт» на пульті управління, так званий «технологічний останов»	G0 X0 Y0 Z100 M0;
M01	Призупинити працю верстата до натиснення кнопки «старт», якщо включений режим підтвердження останову	G0 X0 Y0 Z100 M1;
M02	Кінець програми	M02;
M03	Почати обертання шпинделя за годинниковою стрілкою	M3 S2000;
M04	Почати обертання шпинделя проти годинникової стрілки	M4 S2000;
M05	Зупинити обертання шпинделя	M5;
M06	Змінити інструмент	M6 T15;
M07	Включити додаткове охолодження	M3 S2000 M7;
M08	Включити основне охолодження	M3 S2000 M8;
M09	Вимкнути охолодження	G0 X0 Y0 Z100 M5 M9;
M30	Кінець інформації	M30;
M98	Виклик підпрограми	M98 P101;
M99	Кінець підпрограми, повернення до основної програми	M99;

Таблиця 5.9 – Параметри команд, що задаються буквами латинського алфавіту

Коди	Опис	Приклад
X	Координата точки траєкторії по осі X	G0 X0 Y0 Z100
Y	Координата точки траєкторії по осі Y	G0 X0 Y0 Z100
Z	Координата точки траєкторії по осі Z	G0 X0 Y0 Z100
F	Швидкість робочого подання	G1 G91 X10 F100
S	Швидкість обертання шпинделя	S3000 M3
R	Радіус або параметр стандартного циклу	G1 G91 X12.5 R12.5 або G81 R1 0 R2 - 10 F50
D	Параметр корекції вибраного інструменту	M06 T1 D1
P	Величина затримки або число викликів підпрограми	M04 P101 або G82 R3 Z - 10 P1000 F50
I, J, K	Параметри дуги при круговій інтерполяції	G03 X10 Y10 I0 J0 F10
L	Виклик підпрограми з цієї міткою	L12 P3

Геометрична інформація програмується під адресами X,Z,Y,I,J,K.

При роботі у приращеннях (G 26) після адрес X і Z програмується переміщення ΔX і ΔZ (п'ять цифр зі знаком).

При роботі в абсолютних координатах (G 27) після адрес X і Z програмуються координати точок в імпульсах:

$$X_k = (X_c) \text{МЦИ}_x, \quad (5.23)$$

$$Z_k = (Z_c) \text{МЦИ}_z. \quad (5.24)$$

де X_k, Z_k - координати для видачі у кадр, мм.;

X_c, Z_c - координати опорної точки, які визначаються розмірами деталі, мм.;

МЦИ - множина ціни імпульсу по відповідній вісі.

Подача у кадрі програмується під адресом F з п'ятизначним кодом, де старша цифра FNXXXX визначає діапазон подачі і може приймати значення F1XXXX або F2XXXX. Інші чотири визначають подачу, яка обчислюється по формулі, мм/хв:

$$F_k = F_{\text{мм}} \times M_d, \quad (5.25)$$

де F_k - код подачі, який програмується у кадрі;

$F_{\text{мм}}$ - подача, мм/хв;

M_d - множина подачі.

У першому діапазоні подачі (F1XXXX) програмуються подачі 1...1200мм/хв. У другому - 0,05...60 мм/хв.

Для першого діапазону $M_d = 1$, для другого $M_d = 20$.

Оберти шпинделя програмуються під адресою S трьохзначним кодом. Старша цифра коду SNXX визначає наявність при SIXX контролю або відсутність при SOXX контролю вибору обертів. Інші дві цифри визначають код обертів по паспорту верстата. Код інструменту визначається номером позиції револьверної головки або кодом кодової пластинки інструментального блока.

Корекція інструменту програмується за адресою L двозначним кодом LNп. Старша цифра визначає вид корекції: L1п - корекція відноситься до осі X; L2п - до осі Z; L3п - по осях X і Z одночасно.

Молодша цифра визначає номер коректуючого перемикача для осей X і Z на пульті ЧПК і змінюється від 1 до 9.

Корекція в імпульсах набрана на коректуючому перемикачі пульта ЧПК, сумується алгебраїчно з геометричною інформацією під адресами X і Z у кадрі. Корекцію можна програмувати тільки на лінійних переміщеннях (G01, G10). Для виводу корекції, зміни знаку корекції, набраний на коректуючому перемикачі використовується функція G40.

Послідовність адрес у кадрі для H22 NGXZIKFSTML (G58).

Якщо інформація під якою - небудь з адрес не програмуються, ця адреса у кадрі не указується. Не допускається програмування двох однакових адрес в одному кадрі. Інші обмеження по програмуванню - у відповідності з інструкціями на кожен верстат.

Іноді, доречно використовувати введення плаваючого нуля, це дозволяє значно зменшити холості переміщення інструменту, це можна використовувати тільки для верстатів які підтримують використання цієї функції.

Приклад оформлення та розрахунку координат плаваючого нуля.

Розрахунок ведеться за формулами:

$$X_{\text{см0}} = \left(\frac{23}{2} + 1,2 - 0,2 \right) \cdot 200 = 2500 \text{ имп (12,5 мм);}$$

$$Z_{\text{см0}} = (5,38 + 15,16 + 7,85 + 10 + 20 - 0,2) \cdot 100 ==$$

$$5890 \text{ имп. (58,90 мм);}$$

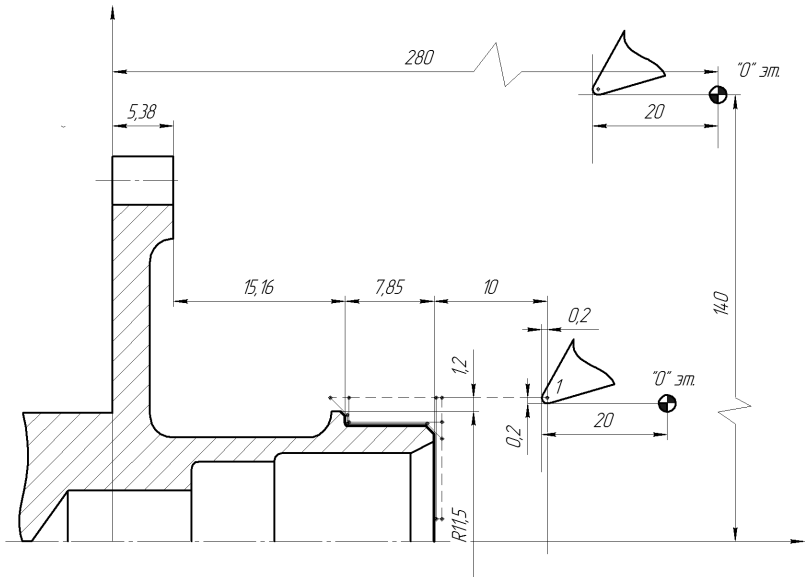


Рисунок 5.69 – Схема налаштування координат заміщеного нуля

Програма в прироццях.

%

N901 T101 M106

N010 G27

N015 Z+ 007770 F70000 G58

*N020 S022 M103**N025 X+002540**N030 G26*

N035 G01 Z-00980 F10400 T101 M108 L31

N040 X-02140 F10100

N045 Z + 00050 F10400

N050 X + 01712

N055 Z-00820 F10100

N060 X + 00308

N065 Z + 00820 F10400

N070 X-00722

N075 X+ 00264 Z-00132 F10100

N080 Z – 00703

N085 X + 00254

N090 X + 00204 Z – 00152

N095 G40 Z + 01917 F10400 M109 L31

N100 G25 X + 999999 M105

N105 G25 Z + 999999

N110 M102

5.6 Розрахунок деталі на міцність за допомогою програми ANSYS

Виходячи з того, що деталі для курсової роботи мають досить складну форму то рекомендується модель деталі створювати в програмі NX.

Розрахунок виконується в декілька етапів.

Перший етап імпортування попередньо створеної моделі в ANSYS.

Імпортування геометрії моделей у форматі IGES:

Utility Menu → File → Import → IGES ...

- Виберіть "Defeature model", потім [OK].

- Виберіть файл "bracket.igs", потім [OK].

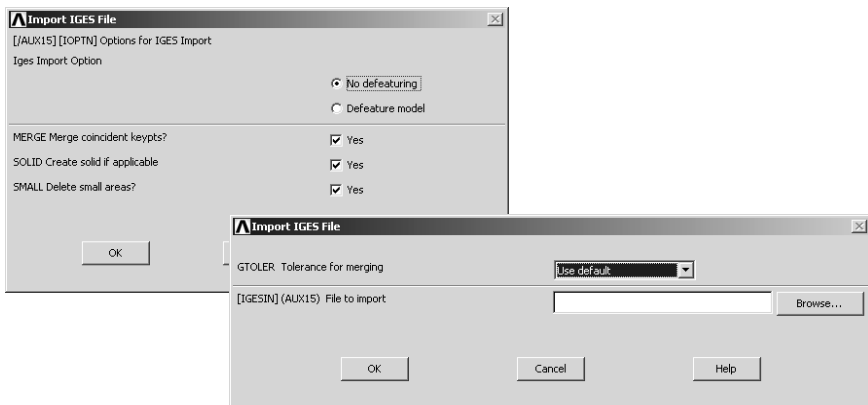


Рисунок 5.70 – Діалогові вікна імпорту геометрії у форматі IGES

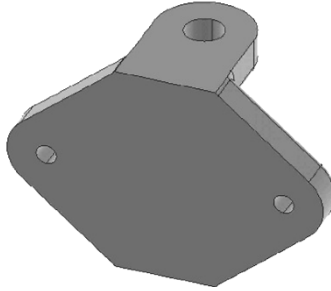


Рисунок 5.71 – Результат імпорту геометрії моделі у форматі IGES

Збережіть отриману базу даних: натисніть кнопку "Save Analysis" у Toolbar (або Utility Menu → File → Save as Jobname.db).

Імпортування геометрії моделей у форматі SAT

Очистіть базу даних ANSYS:

Utility Menu → File → Clear & Start New ...

- [OK], потім [Yes].

Змініть ім'я задачі на "sat":

Utility Menu → File → Change Jobname ...

- уведіть "sat" у якості нового імені задачі, потім [OK].

Імпортуйте файл SAT "gear.sat":

Utility Menu → File → Import → SAT ...

- Виберіть файл "gear.sat", потім [OK].

Або використовуйте команду:

SATIN,gear,sat,,SOLIDS, 0

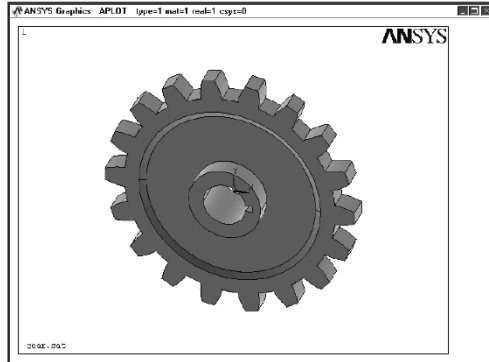


Рисунок 5.72 – Результат імпорту моделі у форматі SAT

Увімкніть опцію "Normal Faceting": Utility Menu → PlotCtrls → Style → Solid Model Facets ...

Виберіть "Normal Faceting", потім [OK]

Utility Menu → Plot → Replot

Або використовуйте команди:

/FACET,NORML

/REPLOT

Збережіть базу даних:

Натисніть кнопку "Save Analysis" у Toolbar (або виберіть: Utility Menu → File → Save as Jobname.db)

Другий етап – розбивка деталі сіткою кінцевих елементів.

Завантажте файл бази даних деталі: Utility Menu → File → Resume from...

- Виберіть файл, потім [OK].

Перший варіант розбивки.

Увійдіть в препроцесор и виберіть тип кінцевого елемента SOLID95:

Main Menu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete → [Add...]

Виберіть "Structural Mass → Solid" і "Brick 20node 95", потім [OK].

[Close]

Або використовуйте команди:

/PREP7

ET,1,SOLID95

Активізуйте опцію згладжування сітки SmartSize і створіть у моделі вільну сітку тетраедричних елементів:

Main Menu → Preprocessor → Meshing → MeshTool...

- Включіть "SmartSize".

- Встановіть рівень SmartSize - 4. Потім у меню Mesh установіть Volumes і активізуйте опції Tet і Free.

- [Mesh]

- [Pick All]

Або використовуйте команди:

SMRT,4 MSHAPE,1,3D MSHKEY,0 VMESH,ALL

Визначте кількість кінцевих елементів у моделі. Запишіть у звіт.

Utility Menu → List → Elements → Attributes Only...

Удаліть сітку кінцевих елементів, використовуючи кнопку [Clear].

Змінюючи рівень Smartize добийтесь кількості елементів моделі не більш 4000.

Збережіть модель з вільною сіткою кінцевих елементів:

Utility Menu → File → Save as...

- Введіть ім'я створеної бази даних, потім [OK]

Або використовуйте команди:

SAVE,ім'я,db

Другий варіант розбивки.

Побудова регулярної сітки кінцевих елементів протягуванням:

Видаліть вільну (Free) сітку:

Main Menu → Preprocessor → Meshing → MeshTool...

- [Clear]

- [Pick All]

Відновіть нормальне зображення:

Utility Menu → Plot → Volumes...

Або використовуйте команди:

VCLEAR,ALL VPLOT

Розділіть об'єм основи на два об'єми (за допомогою переносу робочої площини XY), щоб зробити його топологічно більш підходящим для побудови сітки протягуванням:

Utility Menu → WorkPlane → Align WP with → Keypoints...

- Вкажіть три крапки, потім [OK].

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Operate → Booleans → Divide → Volu by WrkPlane +

- Вкажіть стрілкою об'єм основи, який буде розділено на дві частини робочою площиною, потім [OK]

Utility Menu → WorkPlane → Display Working Plane

Utility Menu → Plot → Volumes

Або використовуйте команди:

KWPLAN, -1, 12, 14, 11

VSBW, 7

WPSTYLE

VPLOT

Включіть режим створення тетраедричної сітки в об'ємах, що не підходять для побудови сітки протягуванням:

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Mesh → Volume Sweep → Sweep Opts...

- Виберіть "Tet mesh in nonsweepable volumes", потім [OK]

Або використовуйте команду:

EXTOPT, VSWE, TETS, ON

Запишіть рівень SmartSize - 4 і установіть глобальний розмір елемента 0.125, потім створіть протягуванням змішану (брикет/тетраedr) сітку у моделі:

Main Menu → Preprocessor → Meshing → MeshTool...

- Нажміть [Set] у меню Size Controls: Global

- Уведіть SIZE = 0.125, потім [OK].

- Виберіть "Hex" і "Sweep", і залиште настройку по умовчанняю "Auto Src/Trg"

- [Sweep]

- [Pick All]

- [Yes] - для побудови тетраедричної сітки в об'ємі 6.

Або використовуйте команди:

SMRT, 2 VSWEEP, ALL

Таким чином більшість елементарних об'ємів деталі було розбито більш оптимальною регулярною сіткою, крім об'єму, що неможливо розбити так названим протяганням, і який автоматично розбито вільною (Free) сіткою.

Третій етап виконання закріплення, навантаження та розрахунку деталі на міцність.

Задайте властивості матеріалу (сталь 45, модуль пружності $E=2 \cdot 10^5$ МПа, коефіцієнт Пуассона 0,3).

Для закріплення деталі необхідно увійти у головне меню ANSYS і обмежити переміщення поверхонь по яких буде відбуватися закріплення в усіх напрямках (all dof), тобто у всіх напрямках зміщення дорівнює нулю.

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Structural → Displacement → On Areas +

- Вкажіть поверхні для закріплення, потім [OK].

Прикладіть тиск у 4 МПа (що дорівнює $4 \cdot 10^6$ Па) на поверхню що підлягає навантаженню:

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Structural → Pressure → On Areas +

- Вкажіть поверхню для навантаження, потім [OK]

- Уведіть значення навантаження VALUE = 4E6, потім [OK]

Або використайте команду: SFA,11,1,PRES, 4E11

Збережіть базу даних на цьому етапі. Після розрахунку зберігати файли не рекомендується із-за їх великого об'єму пам'яті.

Запустіть завдання на розрахунок:

Main Menu → Solution → Solve → Current LS

- [OK]

Або використайте команди:

SAVE

SOLVE

Після завершення розрахунку увійдіть у головний постпроцесор і виведіть зображення напружень по Мизесу (SEQV):

Main Menu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu...

- Виберіть "Stress" й "von Mises SEQV", потім [OK]

Або використайте команди:

/POST1

PLNSOL,S,SEQV

Визначте небезпечний переріз кронштейна по величині еквівалентних напруг, розрахованих по четвертій теорії міцності (von Mises SEQV).

Приклад розрахунку на міцність.

Початкові дані:

Деталь - перехідник кожуха

Модуль пружності - $E=1,18 \cdot 10^5$ МПа

Модуль Пуассона $\mu=0,32$

Прибудова міцності $\sigma_s = 800$ МПа

Розбиваємо фрагмент деталі на вільну сітку кінцевих елементів $Smartsize = 6$, тип KE - solid 95, $N = 12615$ шт. Поверхні закріплення і вантаження показані на рис. 5.73.

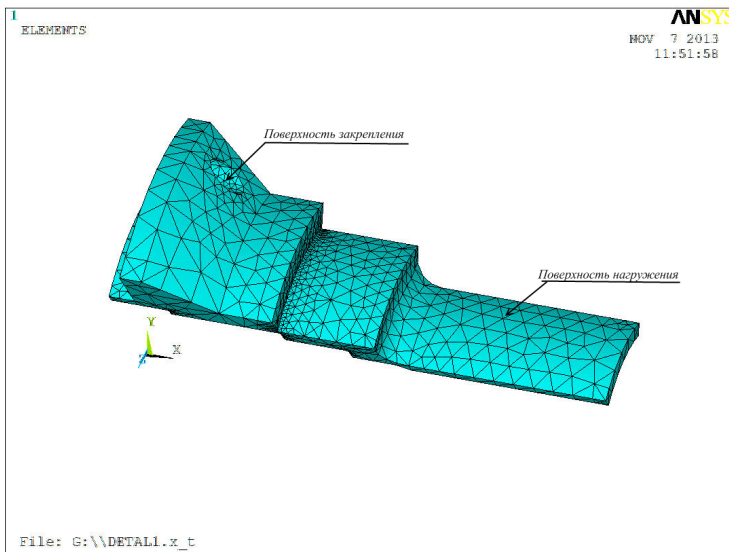


Рисунок 5.74 – Фрагмент деталі, розбитої на кінцеві елементи

Виконуємо вантаження деталі, первинне навантаження $\sigma_0 = 4$ МПа. Максимальна еквівалентна напружка $\sigma_{max} = 2340$ МПа.

Напружка стану деталі показана на рис. 5.75.

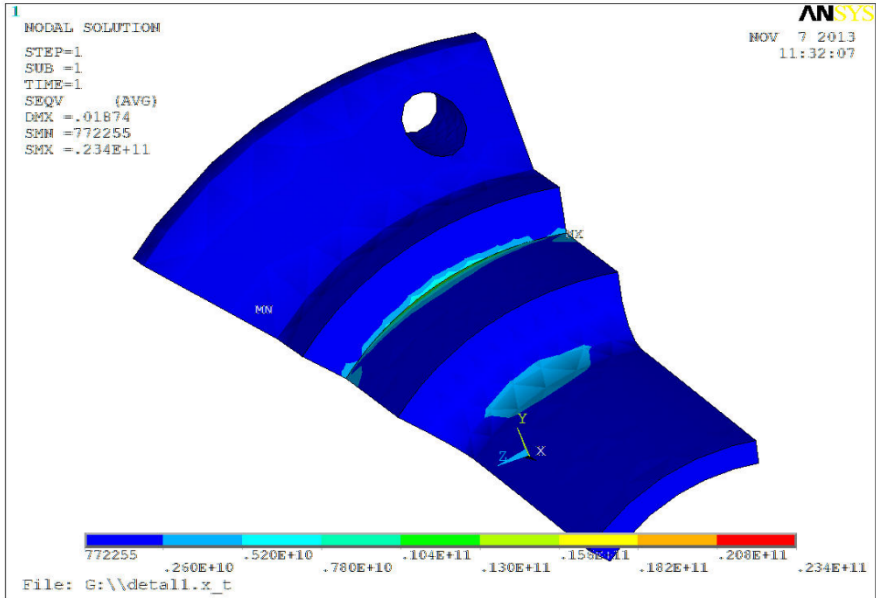


Рисунок 5.75 – Напряга стану деталі

Коефіцієнт запасу міцності по напрузі при початковому навантаженні рівний

$$n_{\sigma} = \frac{[\sigma_B]}{\sigma_{max}} \quad (5.26)$$

$$n_{\sigma} = \frac{800}{23400} = 0,034$$

Допустимим отримали $\sigma_{max}=2340\text{МПа}$, межа міцності для сталі 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72 $\sigma_{\sigma}= 800\text{ МПа}$, отримуємо коефіцієнт запасу міцності $n_{\sigma} = 0,034$.

Оскільки мета розрахунку визначити допустимий діапазон навантажень σ_0 , для забезпечення запасу міцності від 2 до 5.

Рахуємо інтервал максимальної допустимої еквівалентної напруги.

$$\sigma_{\max.\text{нач}} = \frac{[\sigma]}{[n_{\sigma\max}]} \quad (5.27)$$

$$\sigma_{\max.\text{кон}} = \frac{[\sigma]}{[n_{\sigma\min}]} \quad (5.28)$$

$$\sigma_{\max.\text{кон}} = \frac{800}{2} = 400 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\max.\text{нач}} = \frac{800}{5} = 160 \text{ МПа}$$

$\sigma_{\max}$ знаходитиметься в прибудовах від 160 до 400 МПа.

Визначивши діапазон навантажень на цю конструкцію, побудуємо графік залежності коефіцієнта запасу міцності n_{σ} від максимально еквівалентної напруги $\sigma_{\max}$.

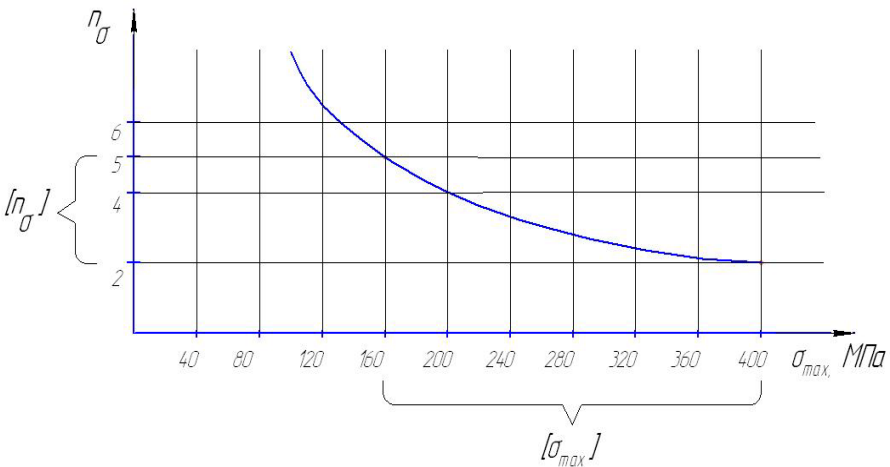


Рисунок 5.76 - Залежність коефіцієнта запасу міцності n_{σ} від максимально еквівалентного напруга $\sigma_{\max}$.

Виходячи з рис. 5.76 складемо рівняння прямої $y=kx$

$$\sigma_{\max} = \frac{703}{30} \cdot \sigma_0 \quad (5.29)$$

Звідси знаходимо значення навантаження, графік якого представлений на рис. 5.44.

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{max} \cdot 30}{703}$$

$$\sigma_{01} = \frac{400 \cdot 30}{703} = 17,07 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{02} = \frac{160 \cdot 30}{703} = 6,83 \text{ МПа}$$

Після цього на підставі отриманих даних будемо графік визначення бокового навантаження.

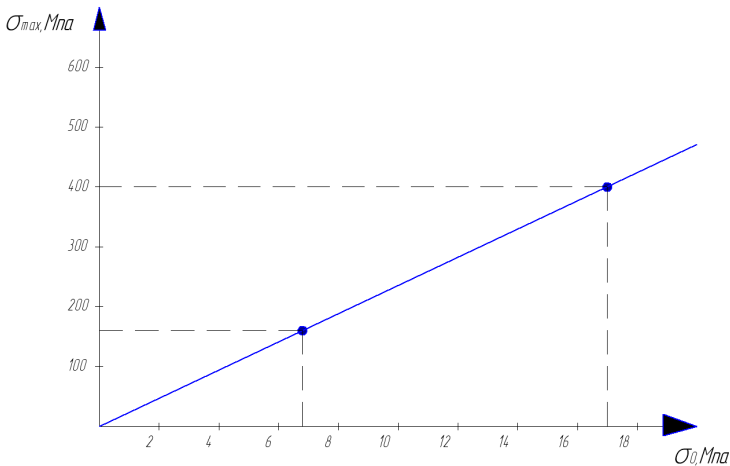


Рисунок 5.77 - Графік залежності максимальної напруги від навантаження

Коефіцієнт запасу міцності n_σ для авіаційних деталей складає від 2 до 5. Згідно з проведеними розрахунками за таких умов навантаження (4 МПа) використати цю деталь не доцільно, оскільки $n_\sigma=0,034$. Для безпечної експлуатації деталі «Перехідник кожуха» в авіапромисловості вимагається або зменшити навантаження, або замінити матеріал деталі на міцніший.

6 Вимоги до техніки безпеки

В процесі виконання курсової роботи студент ЗОБОВ'ЯЗАНИЙ: знати місця розташування засобів пожежогасінні і правила користування ними;

- виконувати тільки ту роботу, яка доручена йому викладачем;
- бути уважним і акуратним під час роботи з ПЕВМ, не відволікатися самому і не відволікати інших;

КАТЕГОРИЧНО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

– приступати до виконання роботи без ознайомлення з правилами техніки безпеки в конкретній лабораторії і прилеглих аудиторіях;

- палити і забруднювати приміщення, псувати майно;
- втручатися в роботу студентів, що виконують інші завдання, якщо це не дозволено викладачем;
- ходити по лабораторії під час виконання роботи;
- знаходитися в приміщенні у верхньому одязі;
- включати технічні засоби без дозволу викладача і обслуговуючого персоналу;
- торкатися електропроводки і електроапаратури із заднього боку монітора;
- під час зайняття навіть за наявності вільних комп'ютерів стороннім користувачам забороняється виконання інших робіт.

7 Перелік посилань

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу “CAD/CAM/CAE від концепції до виробу”, для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка» спеціалізація «Технології машинобудування»/ Скл.: Вишнепольський Є.В. – Запоріжжя: – НУЗП, 2025. – 80 с.
2. Smid P. CNC control setup for milling and turning: mastering CNC control systems. – Industrial Press Inc., 2010.
3. Hodges B. CNC part programming workbook. – Macmillan, 1994.
4. Leu, Ming & Tao, Wenjin & Armani, Amir & Kolan, Krishna. (2017). NX 12 for Engineering Design.
5. Koh J. Siemens NX 10 Nastran: Tutorials for Beginners and Advanced Users. – onsia, 2017. Koh J. Siemens NX 10 Nastran: Tutorials for Beginners and Advanced Users. – onsia, 2017.
6. Tickoo S. Siemens NX 2021 for Designers. – CAD/CIM Technologies, 2021.

Додатки

Додаток А Титульна сторінка

Форма № 17

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(позивається кафедри)

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ (РОБОТА)

З _____

(назва дисципліни)

на тему: _____

Студента (ки) _____ курсу _____ групи
напряму підготовки _____
спеціальності _____

(прізвище та ініціали)

Керівник _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна школа _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
20__ рік

Додаток Б Завдання на курсову роботу

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»
Кафедра технології машинобудування

ЗАВДАННЯ на курсову роботу по САПР ТП

Тема: Розробка технологічної операції обробки деталі

ЗМІСТ РОБОТИ

1. Опис конструкції та службового призначення деталі
2. Аналіз виду та методу отримання заготовки (спеціалізована система САПР ТП), техніко-економічне обґрунтування
3. Розробка операційної технології токарної операції
 - 3.1 Розрахунок режимів різання
 - 3.2 Розробка операції за допомогою модуля NX CAM
4. Розробка операційної технології свердильної операції
 - 4.1 Розрахунок режимів різання
 - 4.2 Розробка свердильної операції за допомогою модуля NX CAM
5. Розробка операційної технології фрезерної операції
 - 5.1 Розрахунок режимів різання
 - 5.2 Розробка фрезерної операції за допомогою модуля NX CAM
6. Ручна підготовка керуючої програми в коді ISO 7bit
 - 6.1 Підготовка операційного ескізу деталі
 - 6.2 Розробка траєкторії руху інструментів, розрахунок координат та прирощень опорних точок, призначення технологічних команд, підготовка карти технологічної інформації.
7. Розрахунок деталі на міцність
8. Додатки: креслення деталі, креслення заготовки, РТК токарне, РТК фрезерне, РТК свердильне, керуюча програма для токарної операції.

Дата захисту роботи _____
 Дата отримання завдання _____
 Завдання отримав _____
 Керівник роботи _____

Додаток Г Приклад оформлення реферату на курсову роботу

РЕФЕРАТ

ПЗ складається з: 27 стор.; 5 таблиць, 13 рисунків, 7 джерел, 3 додатків.

Мета курсової роботи: розробити технологічну операцію обробки деталі, вибрати метод отримання заготовки, розрахувати режими обробки, розробити виконавчу програму для верстатів з ЧПК вручну та за допомогою ЕОМ, виконати перевірку деталі на міцність.

Завдання курсової роботи: закріпити та поглибити знання з технології виробництва деталей та програмування верстатів з ЧПК, отриманих під час лекційних та практичних робіт з дисципліни «Основи САПР ТП».

ВИКОНАВЧА ПРОГРАММА, ДЕТАЛЬ, ЗАГОТОВКА, ПРОЧНІСТЬ, ТРАЕКТОРІЯ, РТК, ISO 7BIT, РЕЖИМИ, ІНСТРУМЕНТ, ВЕРСТАТ, ЧПК, ПРИРОЩЕННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ.

Додаток Д Приклад висновків по курсовій роботі

ВИСНОВКИ

Під час виконання курсової роботи було описано конструктивні особливості деталі «Шестерня», та її службове призначення. За допомогою техніко-економічного аналізу було виявлено найбільш сприятливий метод отримання заготовки. Розроблено технологію токарної та свердлильної обробки деталі на верстатах з ЧПК. За допомогою ЕОМ було розроблено виконавчу програму для верстатів АТПр2М120П та 2Р135-Ф2. Написана вручну виконавча програма токарної обробки у G-кодi. Деталь перевірено на міцність та виявлено небезпечні перерізи.