

Міністерство освіти і науки України
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до вивчення курсу та виконання індивідуального завдання
з дисципліни

«САПР технологічних процесів»

(для здобувачів вищої освіти спеціальностей G9 – Прикладна механіка та
G11 – Машинобудування)

**Тема: «Автоматизоване проектування тривимірних моделей та
програмування токарно-фрезерних операцій на верстатах з ЧПК»**
(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
машинобудування
та прикладної механіки
Протокол № 6 від 17.02.2026 р.

Київ 2026

Шумакова Т.О.

Методичні вказівки до вивчення курсу та виконання індивідуального завдання з дисципліни «САПР технологічних процесів» (для здобувачів вищої освіти спеціальностей G9 – Прикладна механіка та G11 – Машинобудування). Тема: «Автоматизоване проектування тривимірних моделей та програмування токарно-фрезерних операцій на верстатах з ЧПК» (Електронне видання) / укладачі Т.О. Шумакова, О.В. Романченко, О.М. Логунів, А.П. Ніколаєнко., О.В. Шевченко. – Київ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2026. 72 с.

Зміст видання відповідає вимогам освітньо-професійним програмам підготовки магістрів спеціальностей: G9 – Прикладна механіка та G11 – Машинобудування денної та заочної форми навчання.

В методичних рекомендаціях представлені основні етапи виконання індивідуального завдання в інженерних програмах Creo Parametric, Autodesk FeatureCAM при моделюванні тривимірної моделі та розрахунку автоматизованої технології токарно-фрезерної обробки деталей на верстатах з ЧПК.

Методичні матеріали розраховані на студентів вищих навчальних закладів.

Укладачі:

Шумакова Т.О. к.т.н., доц.,
Романченко О.В. к.т.н., доц.,
Логунів О.М. к.т.н., доц.,
Ніколаєнко А.П. к.т.н., доц.,
Шевченко О.В. к.т.н., доц.

Рецензент:

Є.І. Зубцов, к.т.н., доц.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Проектування тривимірної моделі деталі типу «вал» в CAD-системі Creo Parametric.....	9
1.1. Методика розробки тривимірних моделей та креслень. Попередні налаштування програми.....	9
1.2. Створення основи деталі.....	10
1.3. Створення шпонкових пазів.....	12
1.4. Створення шліців.....	15
1.5. Створення отворів.....	17
1.6. Створення канавок, скруглень та фасок.....	20
2. Розрахунок та перевірка керуючої програми для верстата з ЧПК.....	23
2.1. Компоненти робочого простору системи FeatureCAM.....	23
2.2. Створення проекту в системі Feature CAM.....	25
2.3. Імпорт геометричної моделі деталі та автоматизований розрахунок технології обробки в CAM-системі.....	27
3. Створення керуючої програми в системі FEATURE CAM.....	44
ЛІТЕРАТУРА.....	51
ДОДАТОК.....	53

ВСТУП

Сучасний стан машинобудівного комплексу характеризується тотальною цифровізацією виробничих циклів. Дисципліна «САПР технологічних процесів» є наріжним каменем у підготовці інженера-технолога, оскільки вона інтегрує знання з фундаментальних наук (вищої математики, нарисної геометрії) та прикладних дисциплін (металорізальні верстати, різальний інструмент, програмування ЧПК).

Метою вивчення курсу є опанування концепції **PLM (Product Lifecycle Management)** – управління життєвим циклом виробу, де ключову роль відіграє перехід від «концепції до реальності». Студенти мають навчитися не просто створювати цифрові копії деталей, а проектувати технологічний процес їх виготовлення в автоматизованому середовищі.

Особлива увага в курсі приділяється рішенням компанії **Delcam** (нині підрозділ Autodesk) – світового лідера у розробці CAD/CAM/CAE систем. Програмні продукти Delcam, такі як *PowerShape*, *PowerMill* та *FeatureCAM*, використовуються більш ніж у 45 000 організацій у 80 країнах світу. Їх вивчення дозволяє студентам опанувати:

- **PowerShape:** унікальне поєднання твердотільного та поверхневого моделювання для створення складних прес-форм та штампів.
- **PowerMill:** високоефективне програмування стратегій швидкісної обробки (HSM) та 5-осьового фрезерування.
- **FeatureCAM:** інтелектуальну технологію автоматичного розпізнавання типових елементів (Feature Recognition), що мінімізує вплив людського фактору на створення керуючих програм (КП).

Коротка довідка про програмне забезпечення Delcam

Компанія Delcam була заснована в 1977 році в Кембриджському університеті. В 1997 компанія стала акціонерним товариством, а її постійний розвиток обумовлений попитом програмного забезпечення. На даний час компанія є найбільшим розробником програмного забезпечення для моделювання та

виробництва продукції. Програмне забезпечення Delcam використовується більш ніж у 45000 організацій і більш ніж в 80 країнах світу.

Компанія Delcam є однією з провідних світових виробників прогресивних CAD/CAM рішень для обробляючої промисловості. Програмне забезпечення компанії Delcam охоплює всі сфери виробництва, починаючи з моделювання та закінчуючи контролем точності готового виробу, представляючи повністю автоматизовані CAD/CAM рішення для підтримки та забезпечення принципу «від концепції до реальності».

Одним з основних представників програмного забезпечення Delcam є пакет PowerShare – сучасний пакет моделювання з твердотільним та поверхневим моделюванням. Поверхнєве моделювання є найбільш сильною стороною пакету PowerShare. Пакет автоматично пропонує найбільш відповідний спосіб побудови поверхні. У той же час у користувача на будь-якому етапі зберігається можливість самостійно задати необхідний йому спосіб і параметри побудови.

Delcam PowerMill – пакет для підготовки високоефективних керуючих програм для фрезерних верстатів з ЧПК. Він дозволяє підвищити продуктивність верстатів і, одночасно з цим, досягти найвищої якості при виготовленні деталей і оснащення. Delcam PowerMill традиційно вважається кращою системою підготовки керуючих програм для фрезерної обробки виробів складної форми.

Delcam PowerInspect – система контролю точності за допомогою Зкоординатних контрольно-вимірювальних машин і маніпуляторів. Поєднуючи переваги широкого спектру можливостей і простоти у використанні, він дозволяє контролювати складні деталі методом порівняння їх з вихідними комп'ютерними моделями, створеними в CAD-системі. Delcam PowerInspect дозволяє контролювати як складні поверхні вільної форми (показуючи відхилення будь-яких вимірних точок від комп'ютерної моделі), так і геометричні елементи правильної форми, контролювати оснащення, сканувати прототипи для створення комп'ютерних моделей.

Delcam ArtCAM – це програмний пакет для просторового моделювання і механообробки, який дозволяє автоматично генерувати просторові моделі з

плоского рисунка і отримувати по ним вироби на верстатах з ЧПК. ArtCAM пропонує потужний, легкий у використанні набір засобів моделювання, який надає дизайнерові свободу при створенні складних просторових рельєфів.

Потужним представником сімейства програмних продуктів фірми Delcam, є система FeatureCAM. Це система підготовки керуючих програм, заснована на автоматичному розпізнаванні типових елементів. Технологія автоматичного розпізнавання елементів обробки стала надзвичайно популярною серед замовників малого і середнього бізнесу, дозволяючи зробити розробку програм для верстатів з ЧПК настільки швидкою і простою, наскільки це можливо.

У лінійці програмного забезпечення Delcam є спеціалізоване рішення для взуттєвої промисловості – Delcam Crispin, яке дозволяє вирішувати завдання з опрацювання дизайну, декорування і виготовлення всіх типів взуття. Також, компанія Delcam пропонує спеціалізоване рішення для стоматологів. Це рішення базується на відкритій системі, яка складається з двох модулів. Delcam DentCAD – спеціалізована система моделювання зубних мостів і коронок. Delcam DentMill – спеціалізована система для виготовлення зубних мостів і коронок на верстатах з ЧПК.

Оформлення та структура роботи

Пояснювальна записка та титульний лист до індивідуального завдання мають бути оформлені на аркушах формату А4 (210x297 мм) з дотриманням вимог ДСТУ та внутрішніх стандартів Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (СНУ ім. В. Даля) щодо текстових конструкторських документів.

Рекомендований зміст пояснювальної записки

Індивідуальне завдання складається з конструкторської та технологічної частини та має вмістити в собі наступні розділи:

1. Проектування тривимірної моделі в CAD-системі. У цьому розділі описується аналіз креслення (визначення базових поверхонь, габаритних розмірів та допусків, технологічність деталі), етапи проектування тривимірної моделі деталі в системі Creo Parametric або в будь якій іншій CAD системі на вибір студента

(послідовність створення ескізів, виконання операцій видавлювання, обертання, побудова спряжень та складних поверхонь вільної форми і т.д.).

2. Імпорт моделі та автоматизований розрахунок технології в САМ-системі. Даний розділ має відображати результати автоматизованого проектування технологічного процесу механічної обробки деталі в системі Feature САМ, а саме: вибір заготовки, визначення системи координат деталі та вибір постпроцесора під конкретну стійку ЧПК, .опис процесу автоматичного розпізнавання геометричних елементів деталі (отворів, кишень, пазів та виступів) з рекомендацією покрокового циклу механічної обробки кожної з поверхонь деталі, проектування технологічних операцій (обґрунтування вибору різального інструменту, призначення режимів різання, визначення послідовності переходів (чорнова, напівчистова та чистова обробка), вибір методів обробки.

3. Розрахунок та перевірка керуючої програми для верстата з ЧПК. Цей розділ має описувати заключний технічний етап, що гарантує безпеку та точність виробництва. Він включає в себе: симуляцію обробки – проведення 3D-візуалізації процесу зняття матеріалу для виявлення можливих зарізів моделі або зіткнень інструменту з оснащенням; генерацію керуючої програми – отримання G-коду за допомогою обраного постпроцесора; аналіз результатів – розрахунок машинного часу обробки та перевірка відповідності отриманої траєкторії вимогам технічного завдання.

4. Висновки. Підсумок про виконану роботу, оцінка ефективності обраних стратегій обробки та їх відповідність принципам сучасного автоматизованого виробництва.

Рекомендована структура пояснювальної записки має наступний вигляд:

1. Титульний лист (відповідно до стандартів СНУ ім. В. Даля).
2. Завдання на роботу (індивідуальний варіант).
3. Зміст (з нумерацією сторінок).
4. Вступ (мета та актуальність).
5. Розділ 1 (конструкторська частина).
6. Розділ 2 (технологічна частина).

7. Розділ 3 (Симуляція та G-код).
8. Висновки.
9. Перелік джерел.
10. Додаток (креслення деталі, тривимірна модель деталі, маршрутний технологічний процес обробки деталі, сгенерований код керуючої програми на 1 технологічну операцію).

1. ПРОЕКТУВАННЯ ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ» В CAD-СИСТЕМІ CREO PARAMETRIC

1.1. Методика розробки тривимірних моделей та креслень.

Попередні налаштування програми

Перед початком конструювання моделі необхідно створити файл моделі, використовуючи команду Створити. У вікні, що відкрилося, потрібно залишити перемикачі в положенні Деталь і Тверде тіло.

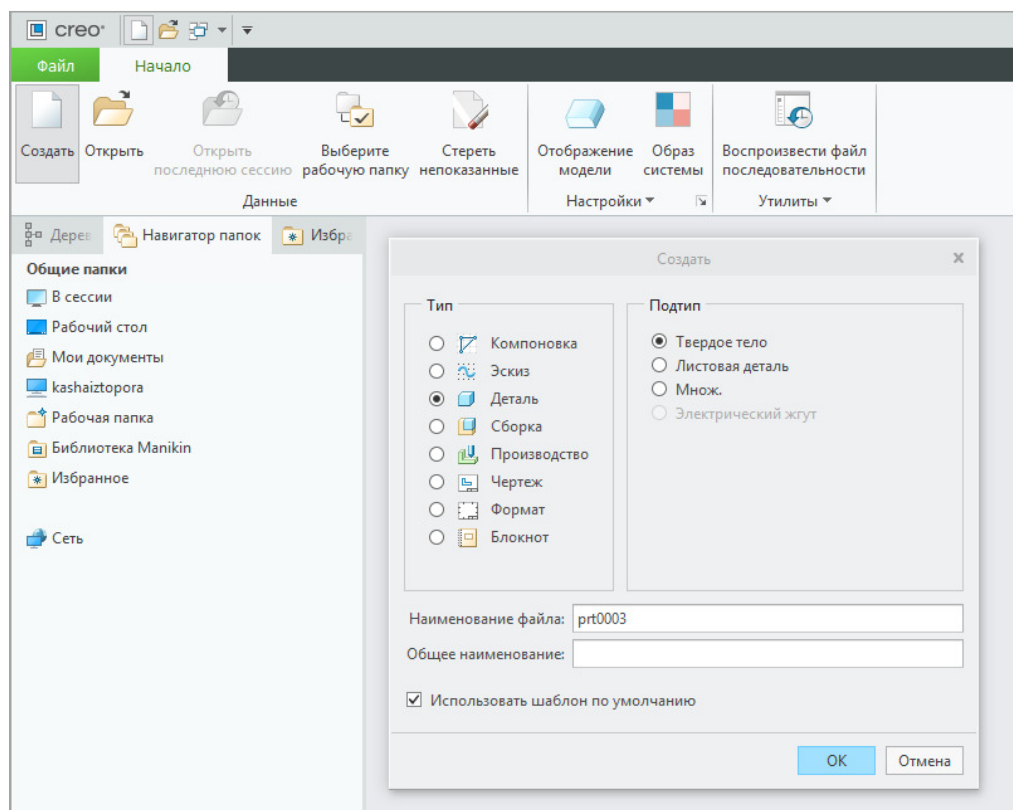


Рис. 1.1. Меню створення документа

Далі слід визначити головну систему одиниць виміру в Creo Parametric. Використовуючи команду Файл (File) > Підготувати (Prepare) > Властивості моделі (Model Properties), відкрийте діалогове вікно Властивості моделі (Model Properties). Потім слід натиснути кнопку змінити (Change), щоб відкрити діалогове вікно Диспетчер одиниць виміру (Units Manager). Замініть дюйми – фунти – метри за секунду на міліметри – кілограми – метри за секунду.

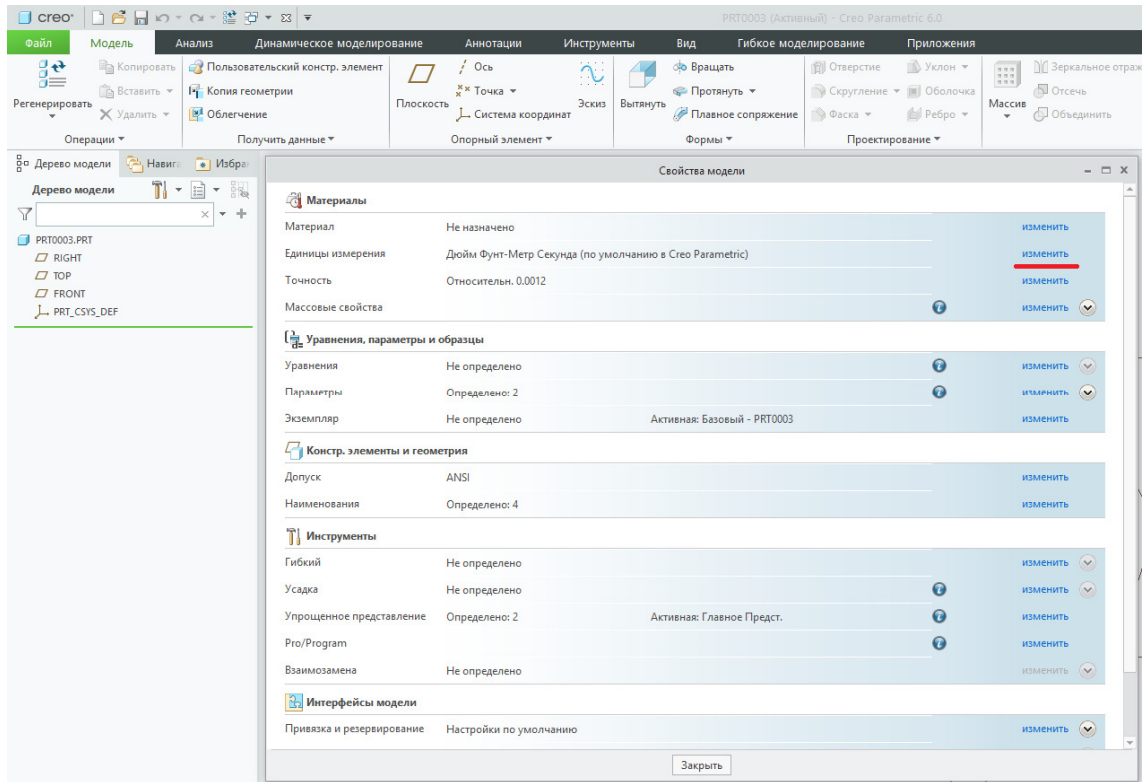


Рис. 1.2. Меню параметрів моделі

1.2. Створення основи деталі

На вкладці Модель (Model) клацніть  Обертати (Revolve) у групі Форми (Shapes). Відкриється вкладка Обертати (Revolve).

У дереві моделі виберіть опорну площину TOP. Відкриється вкладка Ескіз (Sketch).

На панелі графічних інструментів клацніть значок Вид ескізу (Sketch View) .

Вид стане паралельним площини ескізу

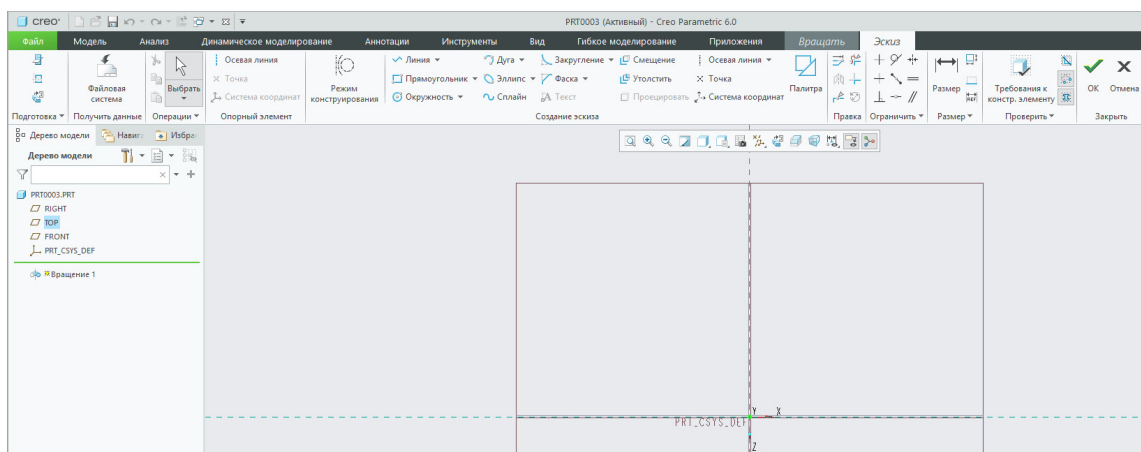




Рис. 1.3. Вибір площини для ескізу


Клацніть  Осьова лінія (Centerline) у групі Опорний елемент (Datum).

Клацніть у будь-якому місці горизонтальної пунктирної лінії, щоб визначити початок осьової лінії.

Перемістите покажчик і клацніть ще раз горизонтальну пунктирну лінію, щоб завершити визначення положення вертикальної осьової лінії.

Клацніть  Лінія (Line) у групі Створення в групі Створення ескізу (Sketching).

Створіть ескіз перетину валу відповідно до заданих розмірів. Ескіз звичайно зображують із приблизними розмірами, які потім коректують у такий спосіб:

Клацніть  Розмір (Dimension) у групі Розмір (Dimension). У графічному вікні з'являться розміри для ескізу.

Двічі клацніть наявні розміри й скорегуйте їхні значення,

Новий розмір можна встановити так: виділіть один елемент лівою кнопкою миші й клацніть середньою кнопкою миші по місту, де буде відображений розмір.

Розмір між двома елементами, наприклад, крапками або лініями, устанавлюють у такий спосіб: виділіть два елементи лівою кнопкою миші при натиснутій клавіші Shift, а потім клацніть середньою кнопкою миші по місту, де буде відображений розмір.

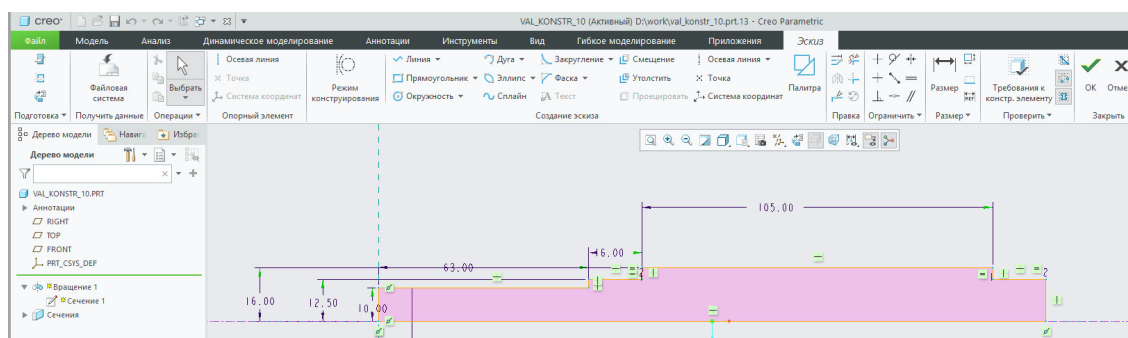


Рис. 1.4. Ескіз з розмірами для операції обертання

Клацніть правою кнопкою миші графічне вікно й виберіть Зберегти ескіз і вийти (Save the sketch and exit).

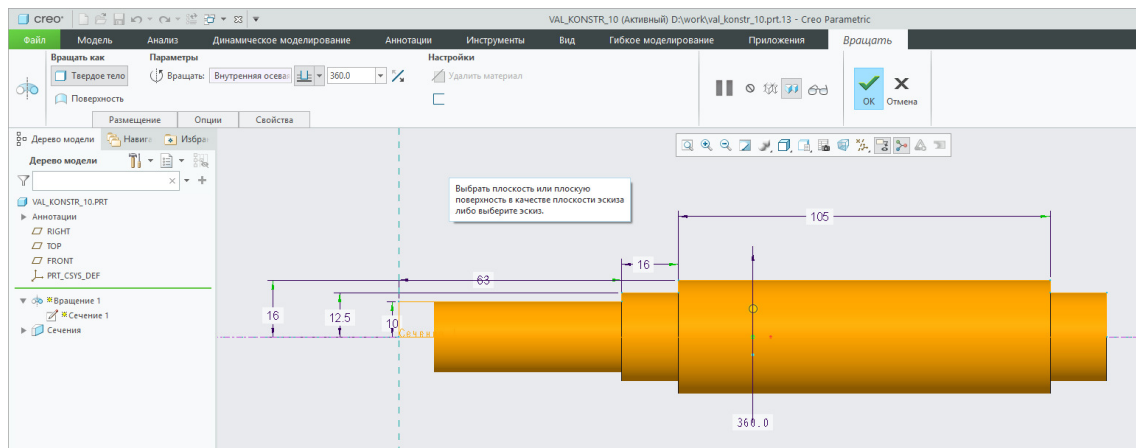




Рис. 1.5. Операція обертання

На вкладці Обертати (Revolve) клацніть .

1.3. Створення шпонкових пазів


Для шпонкового паза потрібно створити опорну площину.



Клацніть Модель (Model) >  Площина (Plane). Відкриється діалогове вікно Опорна площина (Datum Plane).

Клацніть колектор Прив'язки (References) і виберіть у графічному вікні прив'язки розміщення для нової опорної площини.

Нова площина має бути дотичною до циліндричної поверхні валу та паралельною до горизонтальної площини

Щоб визначити площину ескізу, у дереві моделі виберіть створену опорну площину.

На вкладці Модель (Model) клацніть  Витягнути (Extrude) у групі Форми (Shapes). Відкриються вкладки Витягнути (Extrude) і Ескіз (Sketch).

Для відображення розмірів ескізу на панелі графічних інструментів вкладки Ескіз (Sketch) клацніть  Фільтри показу середовища ескізу (Sketcher Display Filters) і встановіть прапорець  Відображення розмірів (Dimensions Display).

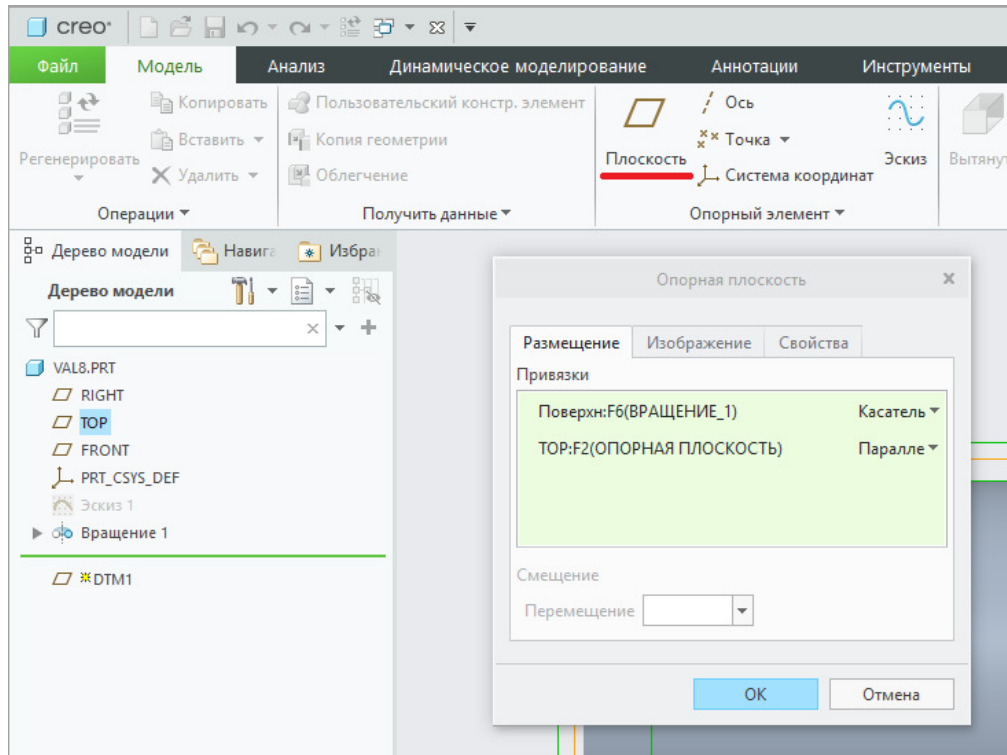



Рис. 1.6. Створення опорної площини

Щоб створити ескіз окружності, виконаєте наступні дії.

На вкладці Ескіз (Sketch) клацніть  Центр і крапка (Center and Point) у групі Створення ескізу (Sketching).

Щоб визначити центр окружності, наведіть покажчик на крапку або перетинання ліній і клацніть.

Щоб визначити діаметр окружності, перетягніть покажчик від центру й клацніть. Не має значення, на яку відстань ви перетягнете покажчик.

Щоб вийти з інструмента створення ескізу  Центр і крапка (Center and Point), двічі клацніть середньою кнопкою миші. З'явиться розмір діаметра.

Щоб відредагувати діаметр окружності, двічі клацніть розмір діаметра, змініть значення на потрібне та натисніть клавішу ENTER.

Для видалення зайвих внутрішніх дуг окружності потрібно скористатися інструментом Вилучити сегмент групи Виправлення панелі Ескіз у такий спосіб: вибрати інструмент, підвести курсор до лінії, що віддаляється, затиснути ліву клавішу миші та перетнути лінію.

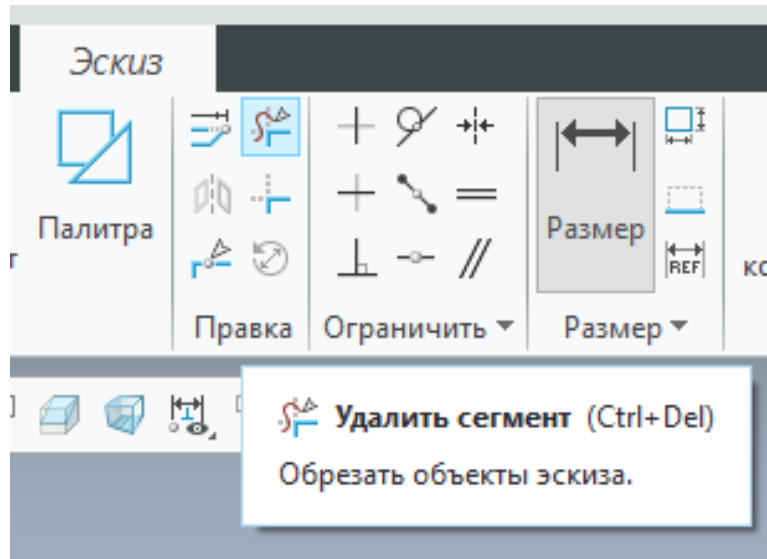


Рис. 1.7. Інструмент видалення зайвих ліній.

Щоб завершити ескіз, на вкладці Ескіз (Sketch) натисніть кнопку ОК. Вкладка Ескіз (Sketch) закриється.

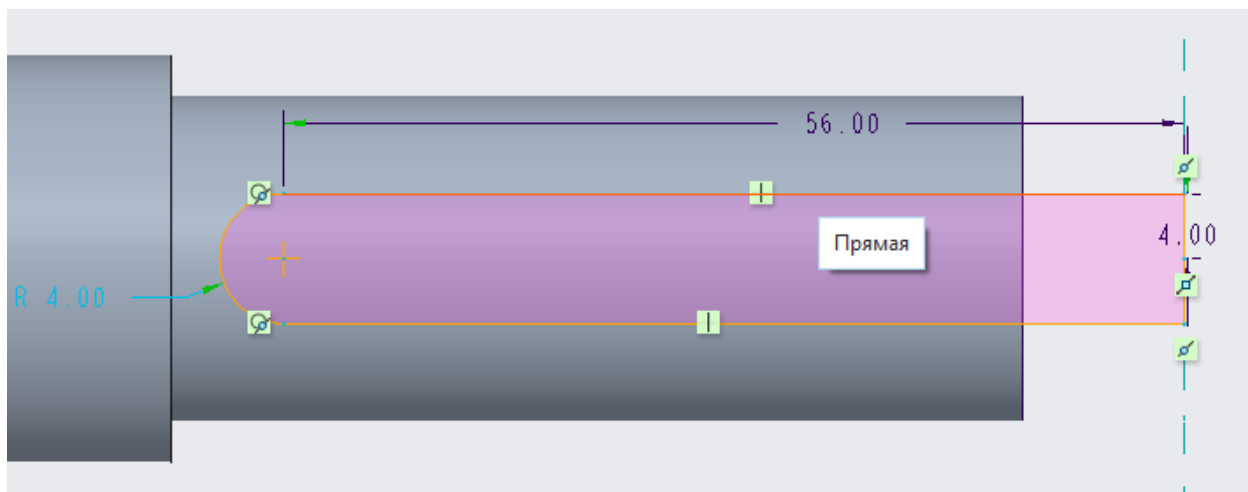


Рис. 1.8. Ескіз шпонкового пазу

На вкладці Витягнути (Extrude) змініть значення глибини на потрібну та натисніть клавішу ENTER.

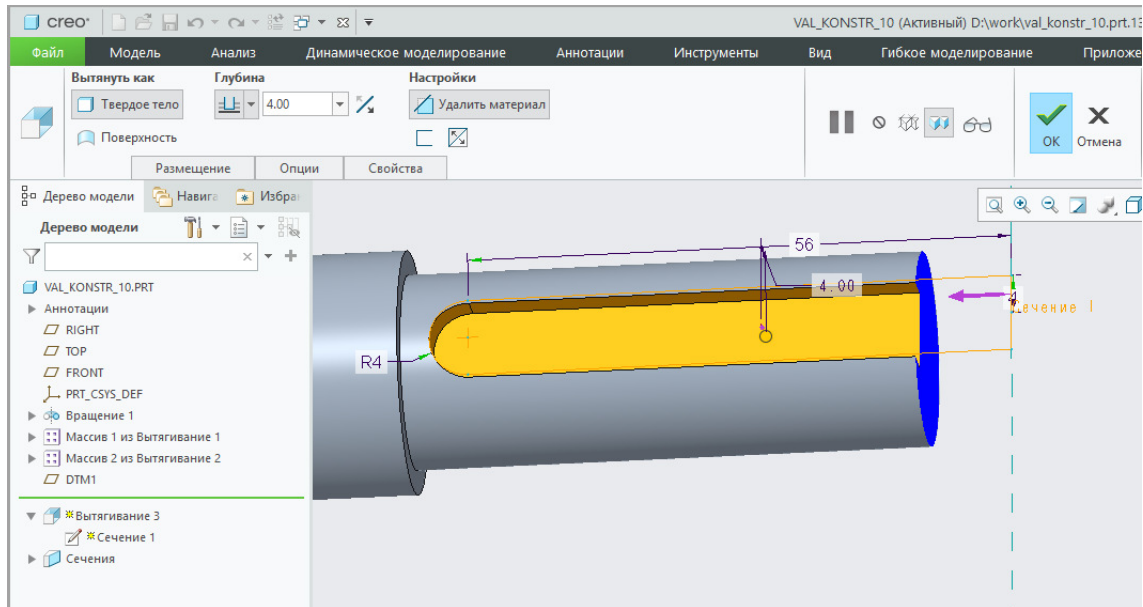



Рис. 1.9. Операція створення шпонкового пазу


На вкладці Витягнути (Extrude) клацніть .

1.4. Створення шліців

Для створення шліців необхідно створити 1 зуб, а потім розмножити його за допомогою операції Массив (Pattern).

Для формування зуба створіть ескіз на перпендикулярній до осі валу площини й застосуйте до нього операцію витягування.

Далі зуб слід розмножити.

Виберіть створену операцію витягування зуба у дереві моделі та клацніть Модель (Model) >  Массив (Pattern). Відкриється вкладка Массив (Pattern).

Виберіть ось (Axis) зі списку типів масивів. Відкриється вікно опцій осьового масиву.

Виберіть або створіть базову вісь, яка повинна бути центром масиву. Відобразиться попередній перегляд масиву за замовчуванням з кутовим напрямком, члени якого позначені чорними крапками.

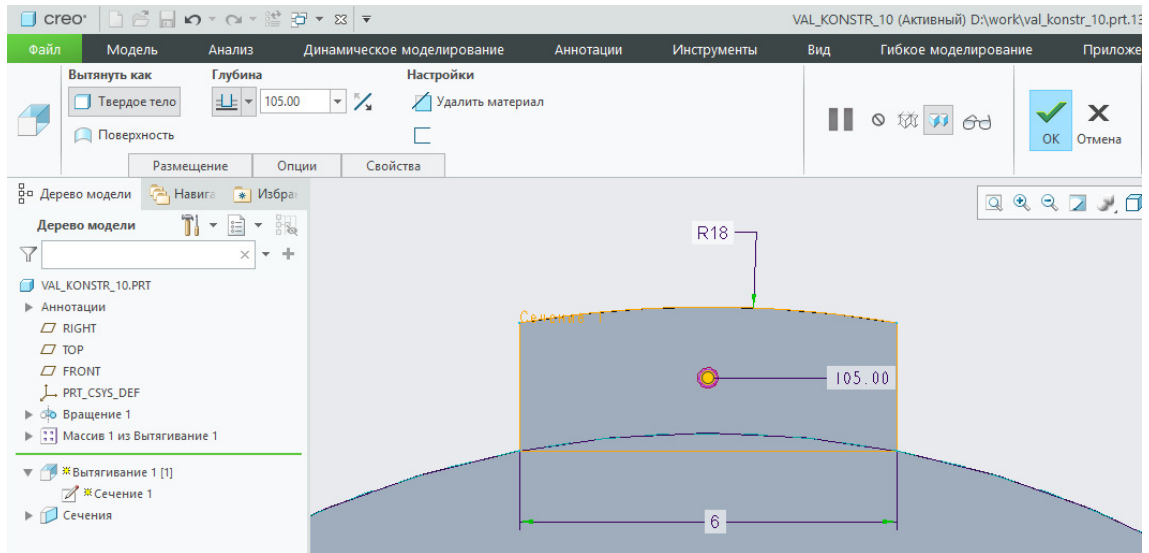


Рис. 1.10. Операція створення основи зуба шліців

Щоб задати кількість елементів масиву в кутовому напрямку, введіть число в текстовому полі на вкладці Массив (Pattern).

Для установки відстані між членами масиву введіть у поле кут між елементами масиву.

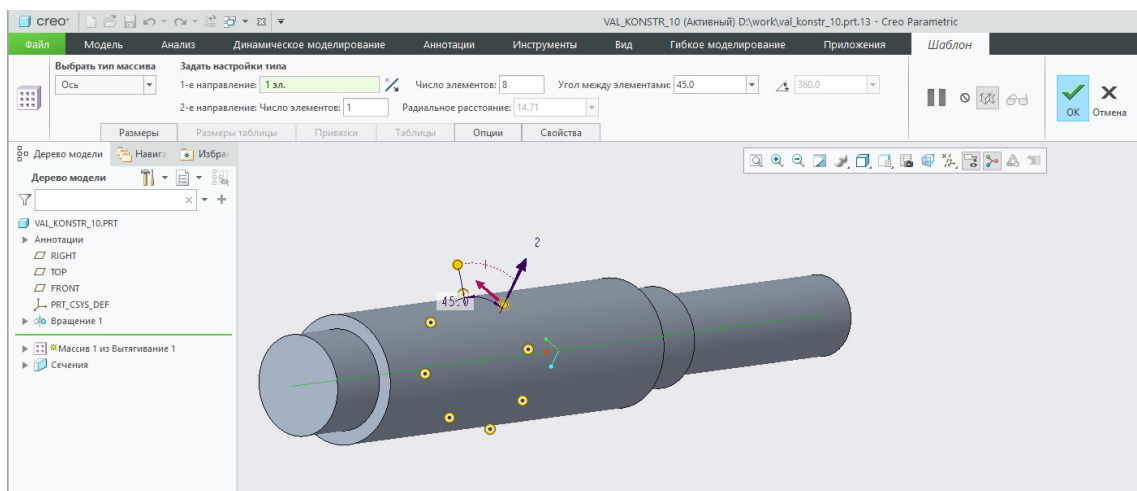




Рис. 1.11. Створення масиву

Щоб додати члени масиву в кутовому напрямку, введіть кількість членів у поле 2.

Для зміни напрямку масиву на протилежний клацніть  для кожного напрямку або введіть від'ємне значення збільшення.

Клацніть . Массив буде створений. Для спрощення ескізів створення фасок і вирізів на шліцах винесені в окрему операцію. Отримані елементи також слід розмножити за допомогою кругового масиву.

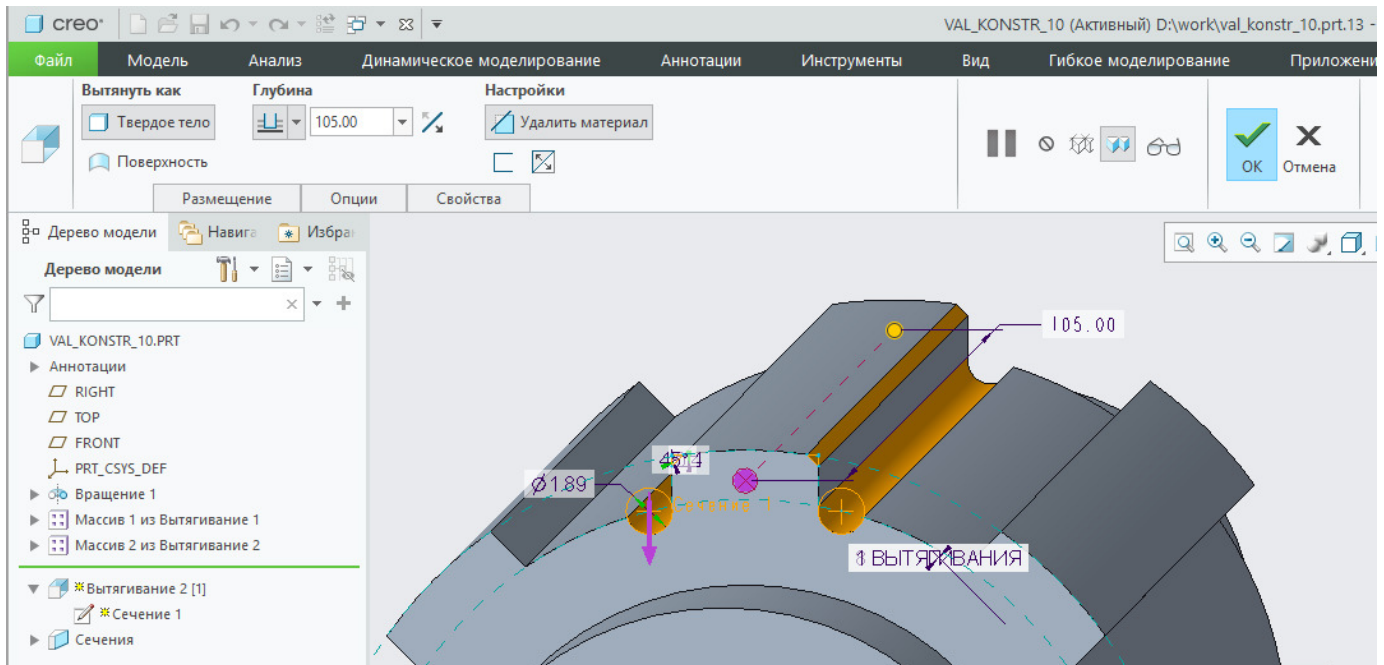



Рис. 1.12. Створення фасок та вирізів

1.5. Створення отворів

Для створення отвору потрібно вибрати бічну грань та клацнути Модель (Model) >  Отвір (Hole). Відкриється вкладка Отвір (Hole) і геометрія отвору буде показана для попереднього перегляду.

Для точного позиціонування отвору потрібно задати прив'язки. Використані відстані до двох базових площин.

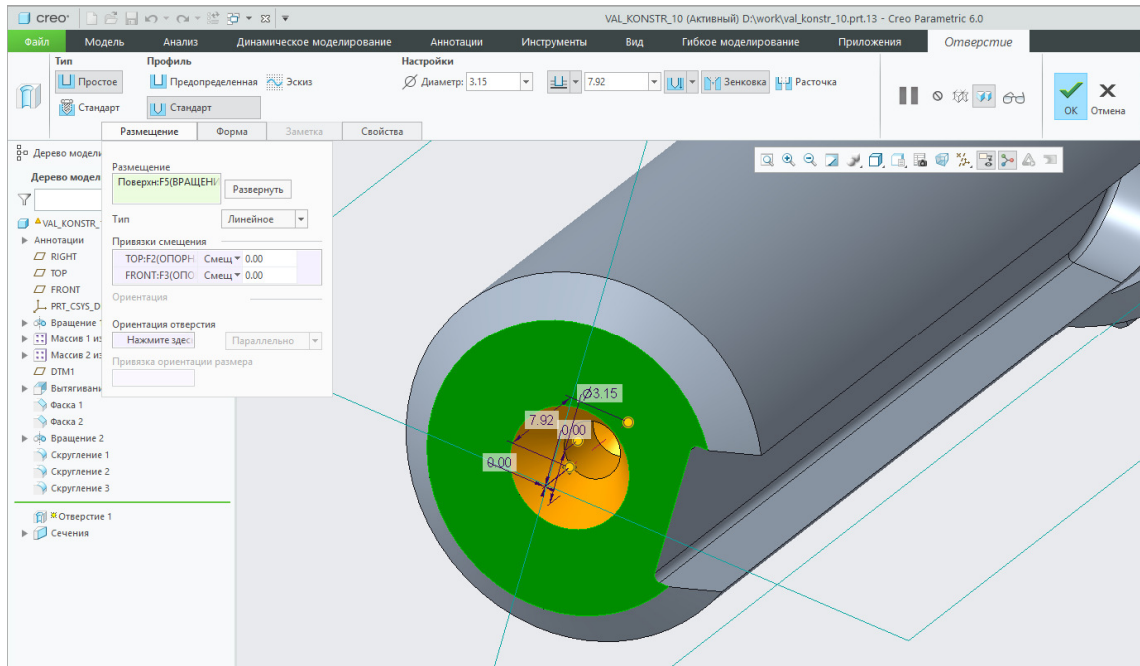



Рис. 1.13. Визначення розташування отвору

Клацніть  , щоб створити стандартний отвір. Відобразяться опції стандартного отвору.

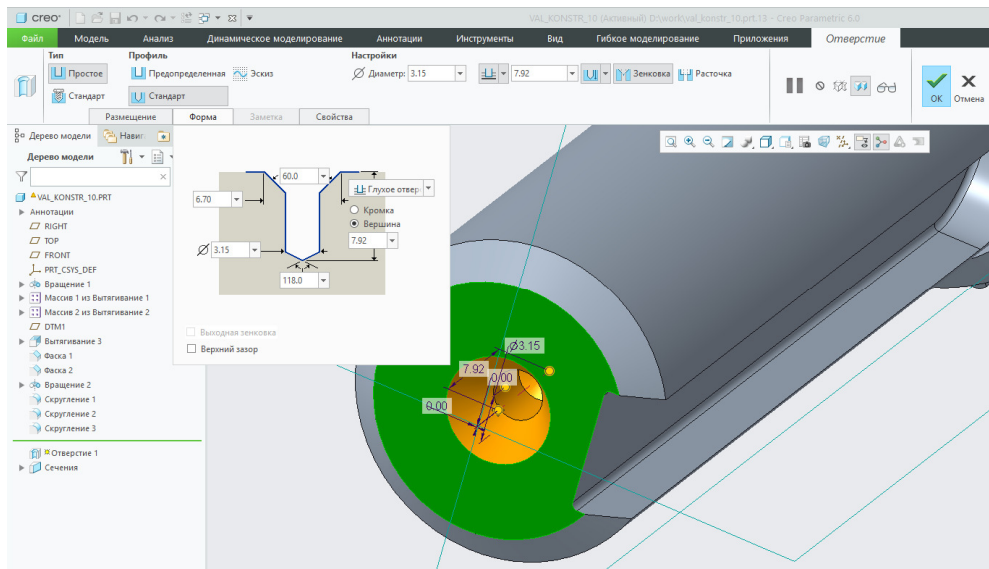








Рис. 1.14. Опції створення отвору


Щоб створити різьбовий отвір, виберіть .


Щоб створити конічний отвір, виберіть .

Різьбовий та конічний отвори доступні тільки за умови вибору .






Для створення отвору із зазором клацніть , щоб скасувати вибір опції, а потім клацніть .


Для створення просвердленого отвору клацніть , щоб скасувати вибір опції, а потім клацніть .

Виберіть потрібну таблицю отворів у поле поруч із  «Тип різьблення» (Thread Type) на вкладці Отвір (Hole). Поле «Тип різьблення» (Thread Type) дозволяє вибирати таблиці отворів, відповідні до виробничих стандартів (ISO, ISO_7/1, NPT, NPTF, UNC або UNF).

У полі напроти  введіть або виберіть розмір гвинта. При введенні розміру гвинта, відсутнього в списку, система вибирає найближчий розмір гвинта. Щоб вибрати розмір різьблення, можна також перетягнути маркер діаметра отвору.


Для завдання глибини отвору виберіть опцію глибини в списку «Опції глибини» (Depth Options) або перетягнете маркер глибини в графічному вікні. Для завдання нової глибини шляхом переміщення маркера, уведення або вибору нового значення необхідно вибрати опцію глибини «На задану глибину» (Blind). Доступні наступні опції глибини:

-  На задану глибину (Blind) – свердління отвору від прив'язки розміщення до зазначеної глибини. Ця опція використовується за замовчуванням.
-  До наступної (To Next) – свердління отвору до наступної поверхні твердого тіла. Ця опція недоступна в складанні.
-  Наскрізь (Through All) – свердління отвору з перетинанням усіх поверхонь.
-  Свердління отвору до перетинання з обраною поверхнею. Колектори "Прив'язка глибини" (Depth Reference) можна активізувати на вкладках Отвір (Hole) і Форма (Shape). Ця опція глибини не є доступною в складанні.
-  До обраної (To Selected) – свердління отвору до обраної складеної поверхні. Колектори «Прив'язка глибини» (Depth Reference) можна активізувати на вкладках Отвір (Hole) і Форма (Shape).

Щоб додати до отвору зенківку, клацніть  на вкладці Отвір (Hole).

Щоб визначити діаметр і кут зенківки, клацніть вкладку Форма (Shape) і введіть або виберіть новий діаметр або кут зенківки у відповідних полях. При одночасному додаванні до стандартного отвору зенківки й цековки діаметр зенківки обчислюється по наступній формулі:

$$CSINKDIAM = (CBOREDIAM+TAP_DR)/2.$$

Щоб додати до отвору цековку, клацніть  на вкладці Отвір (Hole).

Щоб визначити діаметр і глибину цековки, клацніть вкладку Форма (Shape), потім введіть або виберіть новий діаметр або глибину цековки у відповідних полях.

Щоб забезпечити перетинання верхньої частини отвору поза твердотільної геометрії, перейдіть на вкладку Форма (Shape) і переконаєтеся, що встановлений прапорець Верхній зазор (Top Clearance).

Клацніть .

Другий отвір моделюється аналогічно.

1.6. Створення канавок, скруглень та фасок

Створення канавок винесене в окрему операцію обертання, тому що їхнє включення в основну операцію обертання сильно ускладнило б побудову розмірних ланцюгів в ескізі. Ескіз будується на тій же горизонтальній площині, у якості прив'язок ліній ескізу використовуються вже побудовані грані.

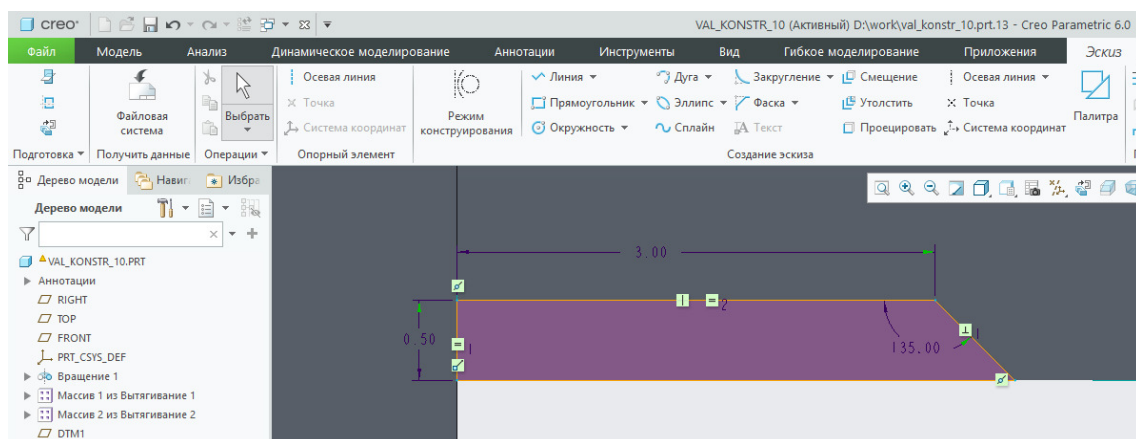


Рис. 1.15. Ескізи канавки

При виконанні операції обертання активується опція Вилучити матеріал.

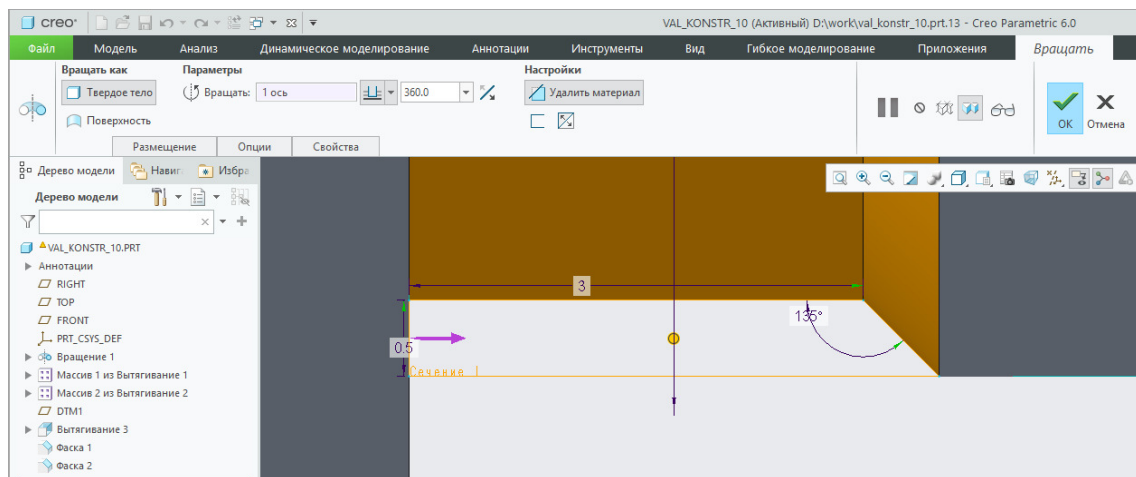


Рис. 1.16. Створення канавки

Скругління канавок також виділені в окрему тривимірну операцію.

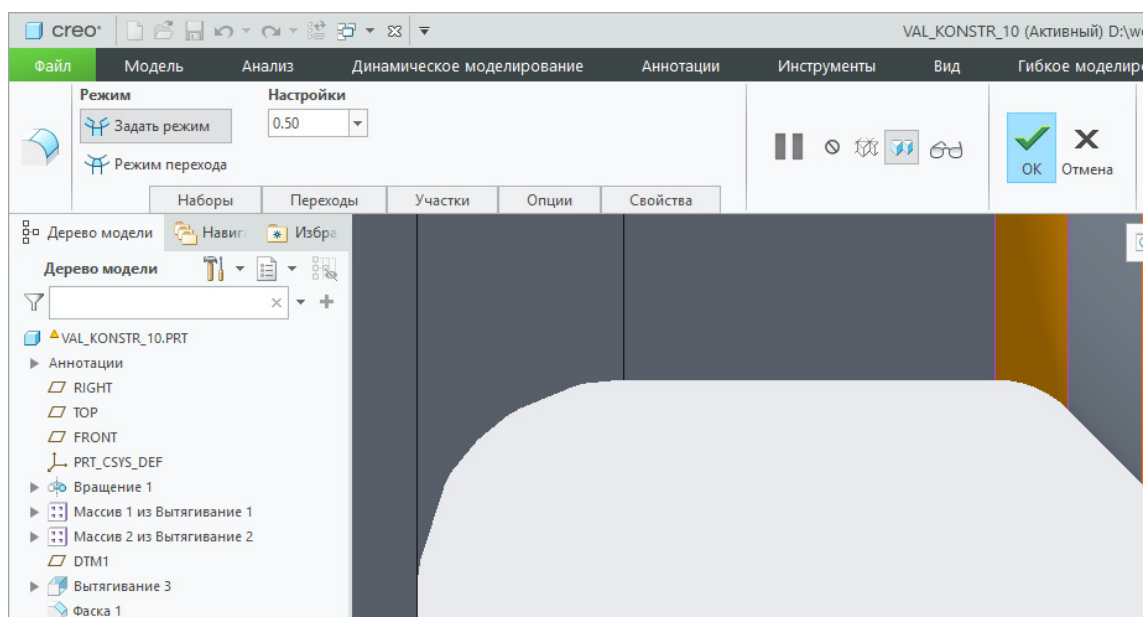


Рис. 1.17. Створення скруглень

Для виконання скругління достатньо задати кромку та радіус, але в загальному випадку ця операція надає дуже багато опцій і дозволяє виконувати скругління змінного радіуса, задавати цей радіус функцією, формувати набори й таке інше.

Фаски також виконуються за допомогою спеціальної тривимірної операції. Варіантів завдання розмірів фасок досить багато.

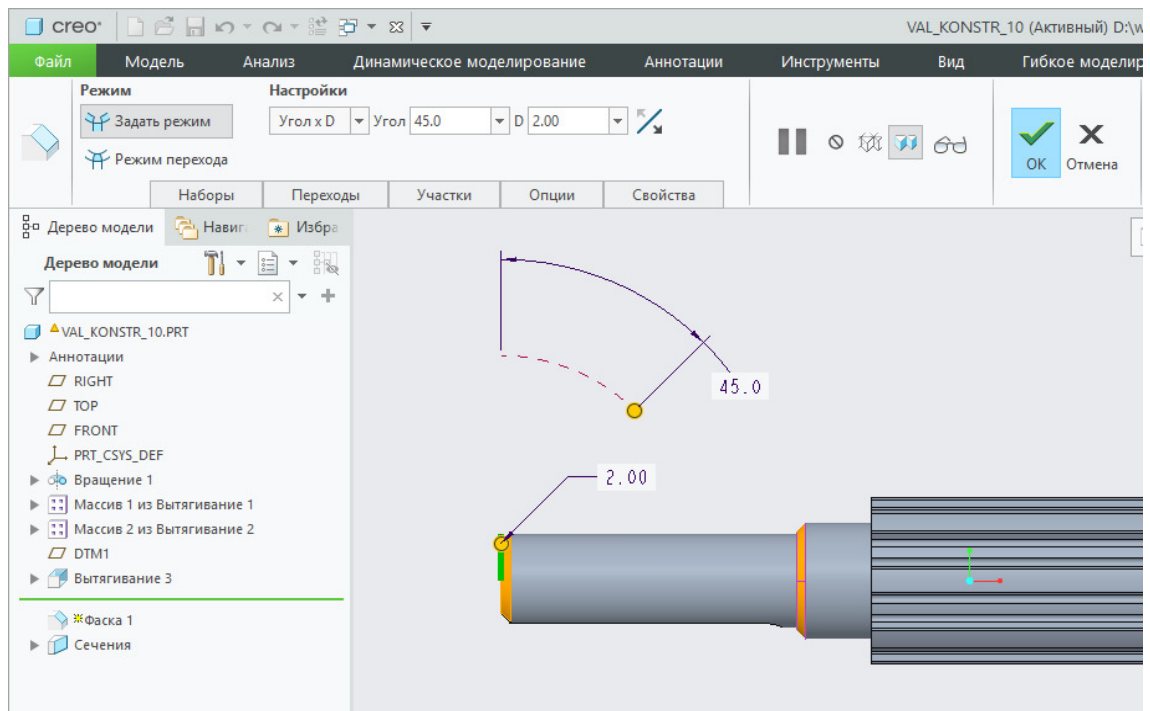


Рис. 1.18. Створення фасок

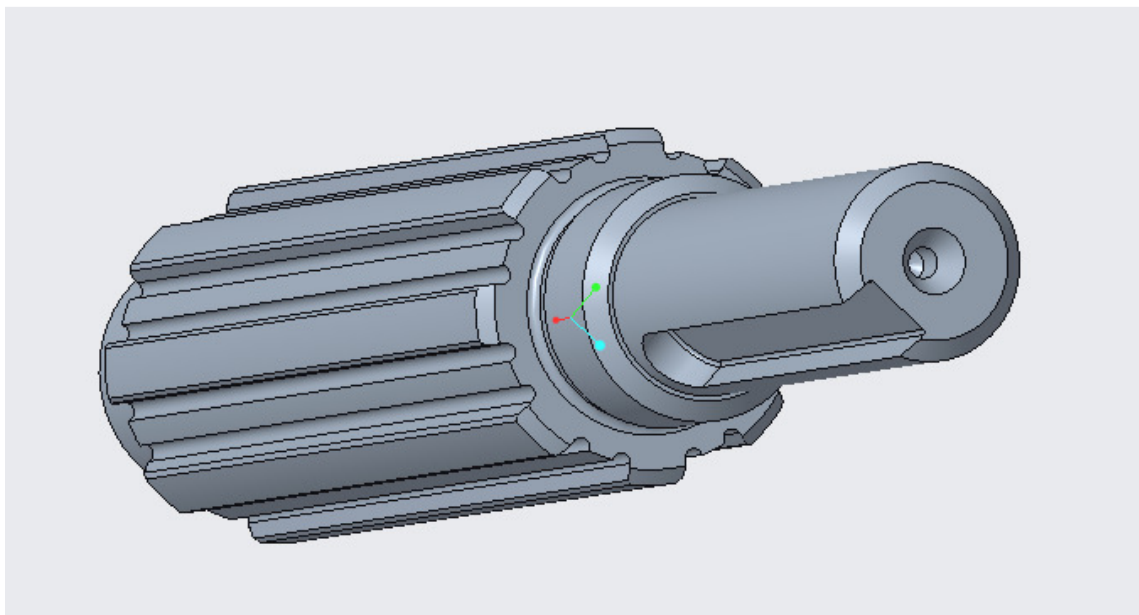


Рис. 1.19. Тривимірна модель валу

За бажання студент може виконати побудову твердотілої моделі своєї деталі в іншій CAD- системі.

Готову деталь можливо зберегти в одному з декількох перехідних форматах. Для цього необхідно виконати Файл → Экспорт (вибрати необхідний формат) → Зберегти.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке тривимірна модель деталі?
2. Перерахуйте основні типи елементів, які використовуються при створенні тривимірної моделі деталі?
3. Опишіть алгоритм побудови елемента методом обертання.
4. Які типи об'єктів можуть створюватися методом обертання?
5. Які обмеження накладаються при створенні тіл обертання?
6. Скільки ескізів необхідно для побудови елемента операцією обертання?
7. Чи можливо при конанні операції обертання використовувати незамкнутий ескіз?
8. Які мінімальна кількість ескізів необхідна для побудови операції «По траєкторії»?
9. Які основні правила для побудови елемента "По траєкторії"?

2. РОЗРАХУНОК ТА ПЕРЕВІРКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВЕРСТАТА З ЧПК

2.1. Компоненти робочого простору системи FeatureCAM

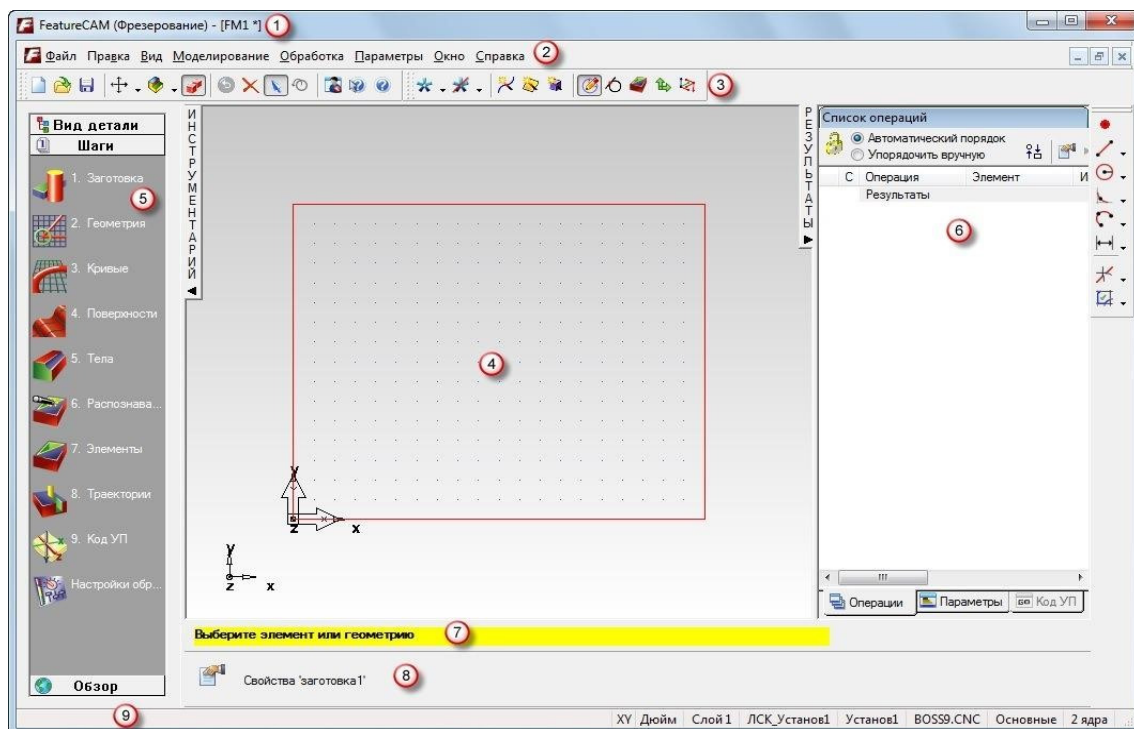


Рис. 2.1. Зовнішній вигляд меню створення документа

На рисунку 2.1:

① – **Панель заголовка** показує тип проекту в круглих дужках, в даному випадку (**Фрезерування**), і ім'я файлу деталі в квадратних дужках, в даному випадку [**first1.fm**]. Коли є які-небудь незбережені зміни у файлі, поруч з назвою файлу відображається зірочка (*).

② – **Панель меню** забезпечує доступ до декількох меню. Вибір меню, такого як **Вид**, відкриває список пов'язаних команд і підміню. Підміню позначаються маленькою стрілкою праворуч від тексту. Наприклад, при виборі **Вид > Основні види** з'являється список широко використовуваних видів.

③ – **Панелі інструментів** забезпечують швидкий доступ до найбільш використовуваних в FeatureCAM командам.

④ – **Графічне вікно** - це головна робоча область.

⑤ – **Вікно Інструментарій** з панелями **Кроки**, **Вид деталі** і **Огляд**. Панель **Кроки** містить впорядкований список кроків для створення програм обробки деталей. Кожен крок – це майстер, який представляє серію діалогів для кожного процесу. Вони перераховані в порядку, в якому їх треба використати в ході процесу створення програми обробки деталі. **Панель Вид деталі** надає ієрархічний вид деталі. **Огляд** містить інформацію про останні можливості, доступні в FeatureCAM, включаючи файли прикладів, які можна завантажити прямо в FeatureCAM.

⑥ – Вікно **Результати** містить автоматично створену документацію, що включає списки інструменту, операційні карти і керуючі програми для деталі.

Вибір однієї з вкладок внизу вікна міняє вміст цього вікна.

⑦ – **Рядок підказок** показує довідкову інформацію для поточної команди.

⑧ – **Панель редагування елемента/геометрії** дозволяє вибирати і редагувати елемент, або вводити положення точок і параметри для створення геометрії.

⑨ – **Рядок стану** відображає поточні одиниці виміру, набір інструментів і налаштування постпроцесора, так само як статус вашої клавіатури і інформацію про запущену імітацію.

2.2. Створення проекту в системі Feature CAM

Виконуємо запуск програми з ярлика на робочому столі або кнопка *Пуск* → *Програми* → *Delcam* → *Feature CAM*.

Далі виконуємо імпорт раніше побудованої деталі в робочу область програми Feature CAM. Одночасно з цим робимо підналаштування програми для певної механічної обробки вашої деталі. Для цього виконуємо наступні дії: *Файл* → *Майстер деталі.* → *Новий файл* → *Точіння/Фрезерування (одиниці виміру - Міліметр)* → *Готово*.

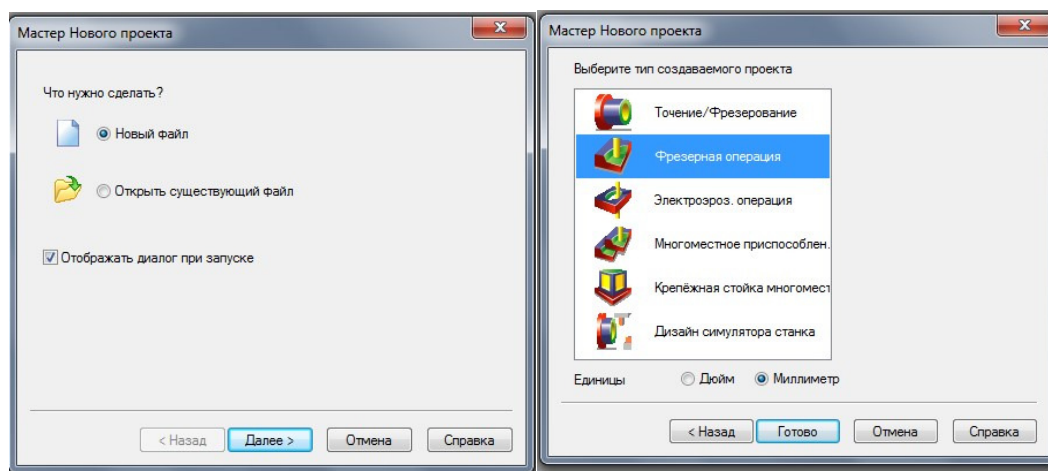


Рис. 2.2. Створення проекту фрезерної операції

Виконуємо імпорт готової деталі (у форматі *.igs або *.x t). При необхідності існують і інші проміжні формати проектів, які програма Feature CAM може розпізнати.

На наступному етапі проектування і наладки системи необхідно вибрати форму і розміри заготівлі. Заготівлю необхідно прорахувати заздалегідь з урахуванням припуску на механічну обробку, точності, що пред'являється, і шорсткості до деталі по кресленню.

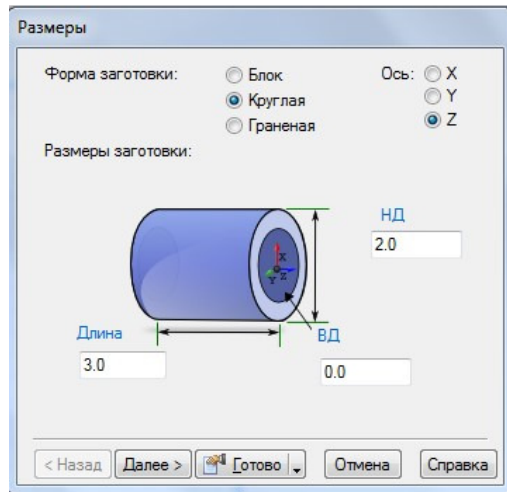


Рис. 2.3. Визначення розмірів заготовки

При імпорті деталі система запитає про коректність установки осі Z

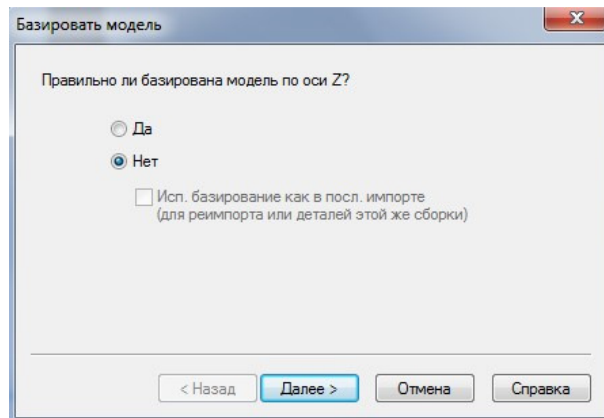


Рис. 2.4. Підтвердження базування моделі

Важливо! Вісь Z завжди має бути спрямована по осі заготівлі від шпинделя у бік заднього центру!

Розглянемо приклад токарного оброблення Валу-шестерні та одночасного розрахунку керуючої програми для верстата з ЧПК у програмі Feature CAM.

Запускаємо Feature CAM. Вибираємо Новий файл → Точіння / Фрезерування. Вказуємо одиниці виміру - міліметри → Готово.

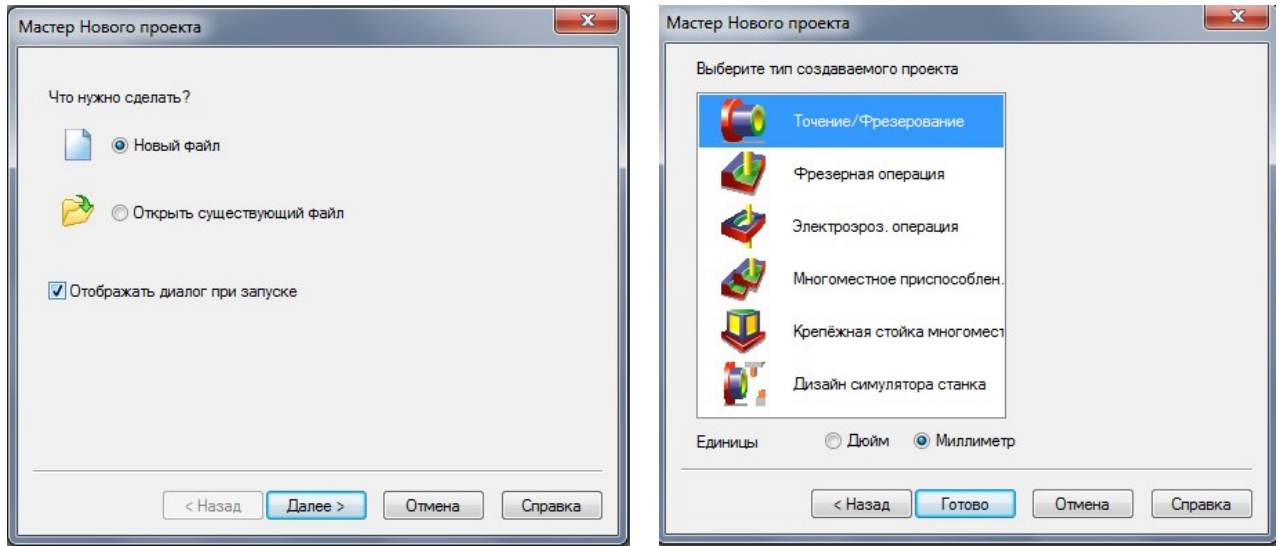


Рис. 2.5. Створення проекту токарної операції

Після створення проекту система відразу запропонує вам виконати розрахунок заготовки. На даному етапі розрахунок заготовки марний, тому що ми ще не імпортували деталь у поточний проект. До того ж при складній конфігурації деталі, розрахунок заготовки виконується індивідуально, з кривою, суворо за геометрією поточної деталі, а система запропонує вам розрахувати заготовку з простого циліндру, що незмінно призведе до великої витрати матеріалу заготовки та збільшенню машинного часу на обробку.

Виконуємо імпорт деталі в систему Feature CAM. Формат моделі користувач обирає за власним бажанням. Залежно від того, в якій CAD-системі виконувався розрахунок моделі та які варіанти експорту моделі, в майбутньому, вона запропонує. Для прикладу, використовуємо формат Creo Parametric * .x_t.

2.3. Імпорт геометричної моделі деталі та автоматизований розрахунок технології в САМ-системі

Імпорт деталей типу вал, **рекомендується**, виконувати без центрових отворів, щоб уникнути, надалі конфліктів самоперетину поверхонь зі створеними кривими заготовками та ЛСК (локальними системами координат).

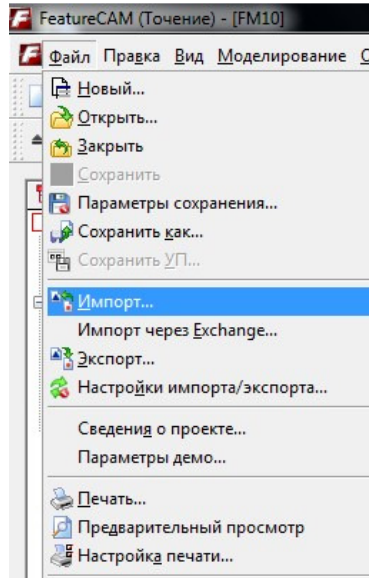


Рис. 2.6. Импорт геометричной моделі деталі

При імпорті деталі система запитас про коректність установки осі Z. За необхідністю скоригуйте напрямок системи координат.

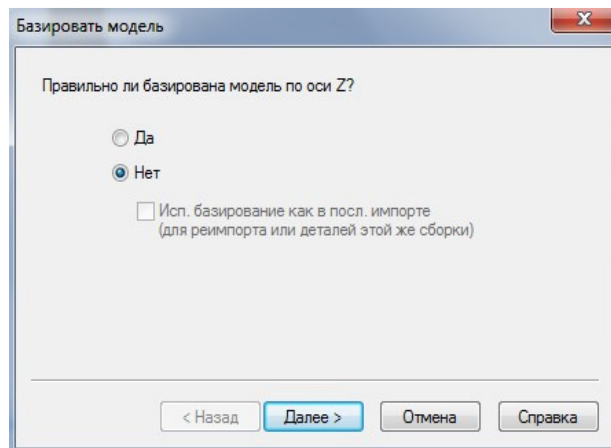


Рис. 2.7. Корегування базування моделі

У нашому випадку, ми відмовляємося від запропонованого базування ЛСК і встановлюємо вісь Z зліва від заготовки.

Примітка! Вісь Z завжди повинна бути спрямована за віссю заготовки від шпинделя у сторону заднього центру! Правильне розташування ЛСК зображене нижче на рисунку.

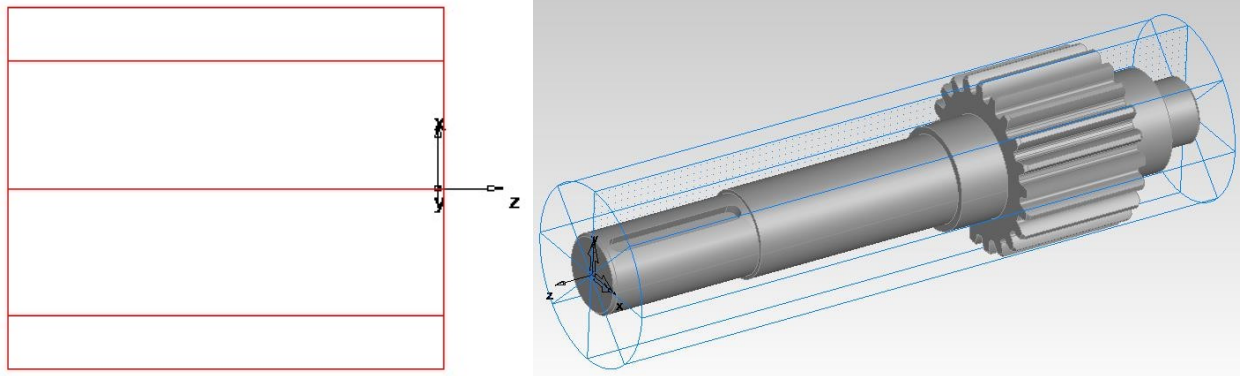


Рис. 2.8. Правильне розташування локальної системи координат

Для зручності вибору необхідної поверхні торця деталі необхідно скористатися функцією *Вид* з контекстного меню.

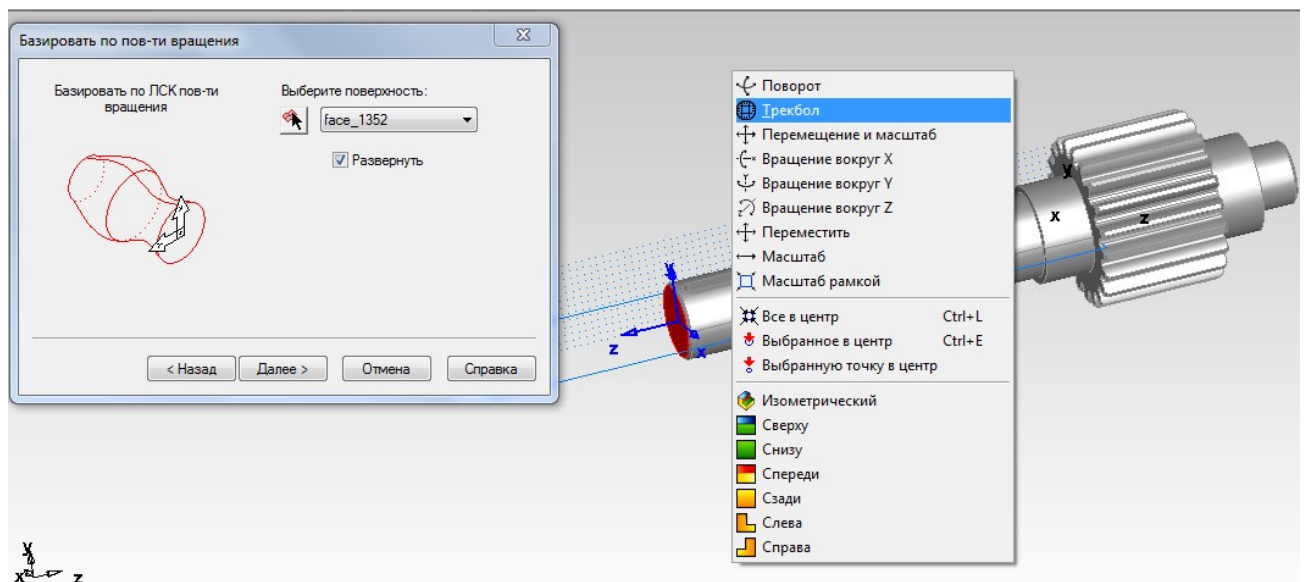


Рис. 2.9. Вибір необхідної поверхні торця

На наступному етапі потрібно відмовитися від автоматичної підгонки розмірів заготовки по деталі. Вище згадувалося, що для раціональної обробки східчастих валів і шестерень необхідно формувати заготовку з кривою, по геометрії деталі.

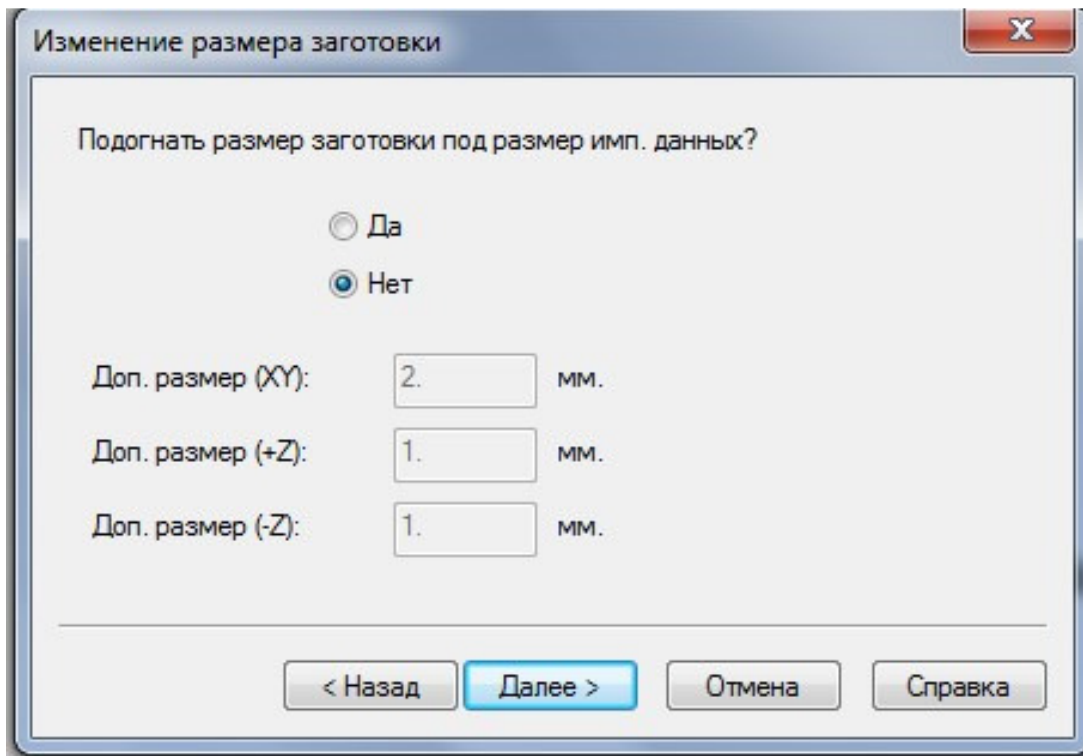


Рис. 2.10. Корегування розміру заготовки

Далі, слідуючи майстру, також необхідно відмовитися від автоматичного розпізнавання елементів. Розпізнавання створить автоматично технологію обробки всіх, без винятку, поверхонь деталі, при цьому в багатьох випадках не коректну, і кожну операцію з технології доведеться переробити.

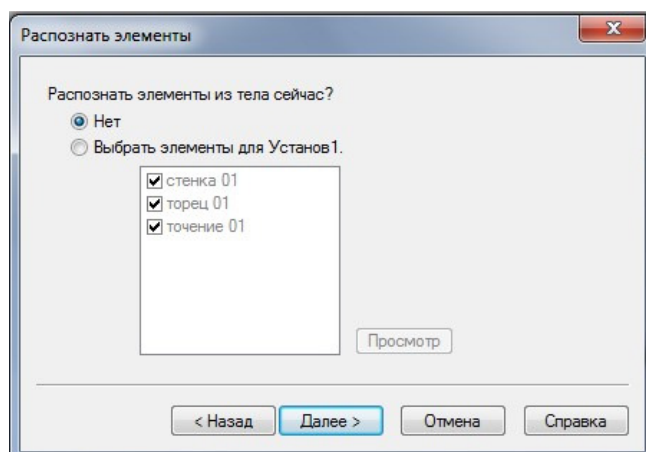


Рис. 2.11. Відмова від розпізнавання елементів

У вікні *Створити геометрію точіння* слід прийняти умови та натиснути *Готово*.

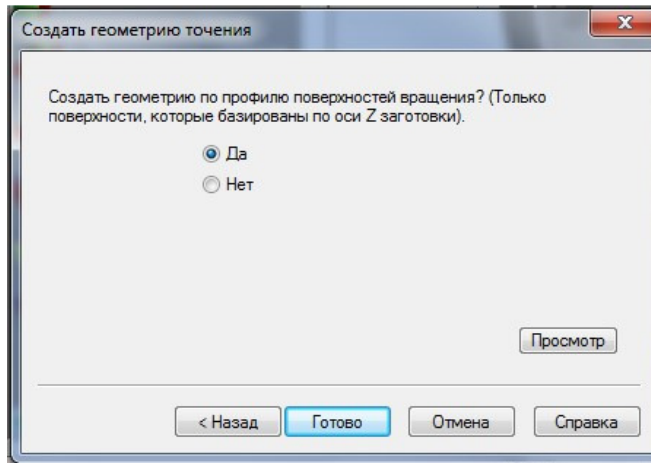


Рис. 2.12. Створення геометрії точіння

Якщо необхідно перемістити або повернути локальну систему координат деталі, досить двічі клацнути на діючу систему і в вікні, ЛСК виконати необхідні дії.

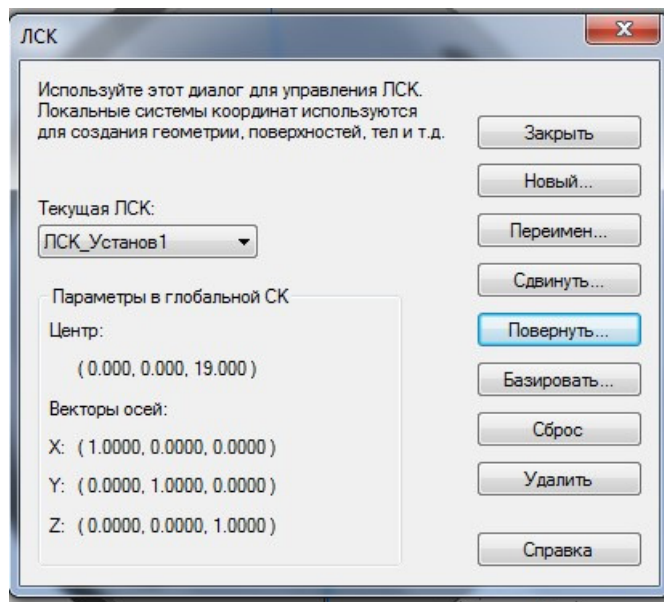


Рис. 2.13. Корекція розташування локальної системи координат

Після призначення заготовки і встановлення системи координат деталі, необхідно продовжувати розрахунок проекту обробки деталі, використовуючи панель Кроки (як описано вище).

Перед початком розрахунку механічної обробки деталі, необхідно виконати корекцію заготовки. Так як вийде, за замовчуванням, приблизно наступна картина (див. рис. Нижче).

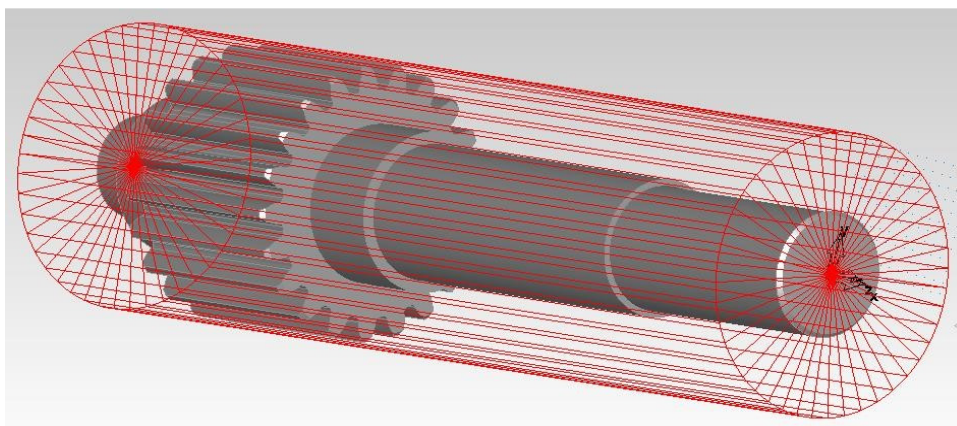



Рис. 2.14. Заготовка, створена за замовчуванням

Заготівка в даному випадку не раціональна для поточного виду механічної обробки через величезну витрату матеріалу в стружку, і отже, великого машинного часу.

Для корекції заготівки намалюємо необхідну криву заготівки, з урахуванням припуску, і замінимо їй заготівку зі стандартного циліндра. Для цього слід виконати такі кроки:

✓ на вкладці *Кроки* оберемо функцію *Криві* → *Створити криві за допомогою майстра* ;

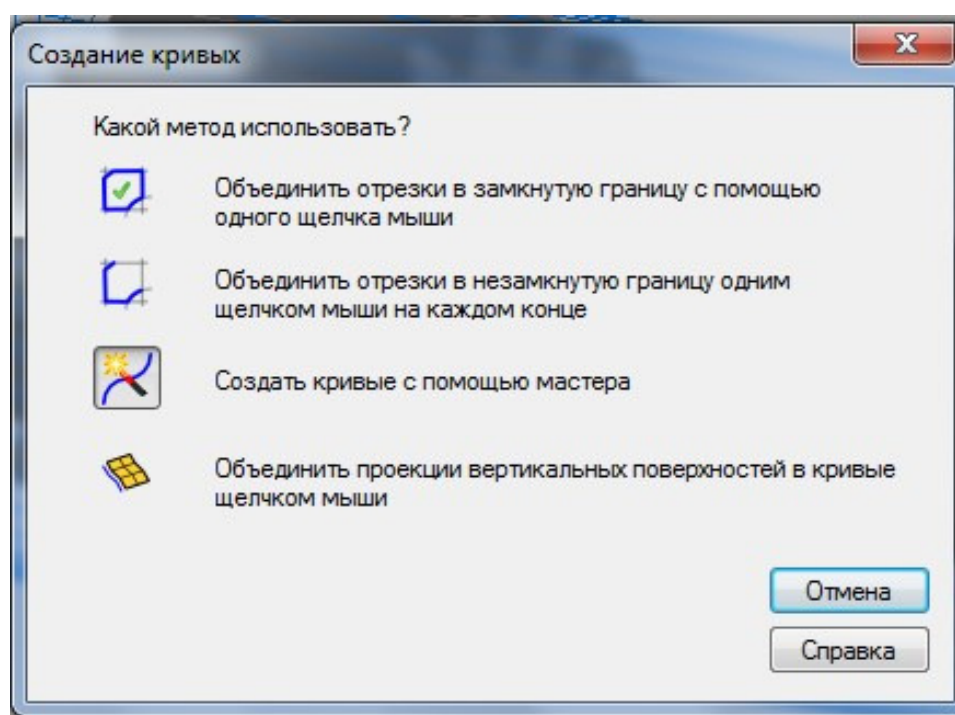


Рис. 2.15. Створення кривої для корекції заготовки

✓ у вікні, яке з'явилося відмічаємо галочкою пункти: *З поверхонь*; *Границя поверхні обертання*;

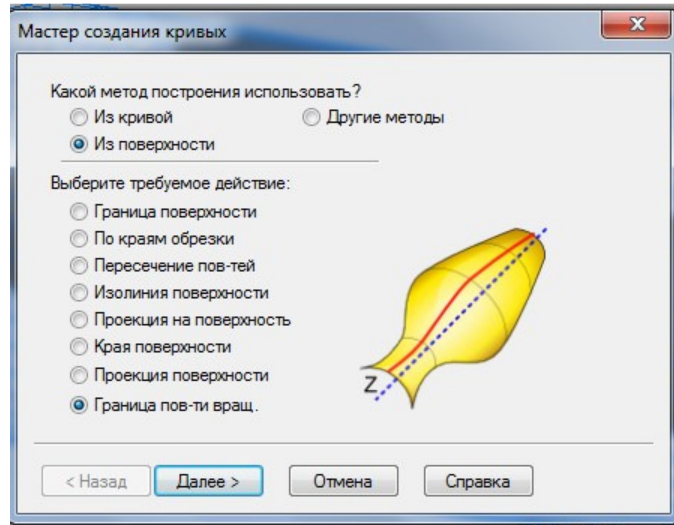


Рис. 2.16. Майстер створення кривих

✓ далі відмічаємо *Твердотілий метод* і тиснемо кнопку *Продивитися*. На екрані з'явиться контур синього кольору на поверхні деталі. Тиснемо *Готово*.

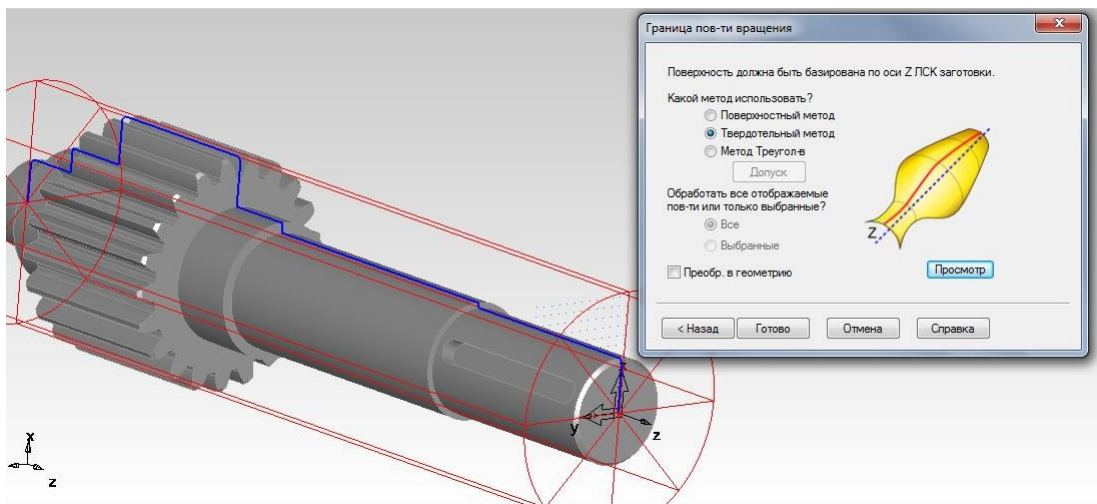


Рис. 2.17. Створення кривої з контуру деталі

✓ далі переходимо знов у *Майстер кривих* на панелі *Допоміжна* або на вкладці *Кроки* кнопка *Криві*. Нам необхідно здвинути створену криву по еквідистанті на величину розрахункового припуску на механічну обробку;

✓ у вікні *Майстра кривих* робимо відмітки *З кривої*; *Зміщення*. Надаємо ім'я кривій та вказуємо величину зсуву, яка буде дорівнювати розрахунковому припуску на сторону, в міліметрах. У цьому ж вікні ставимо галочку *Уникати самоперетинів* и тиснемо *Готово*.

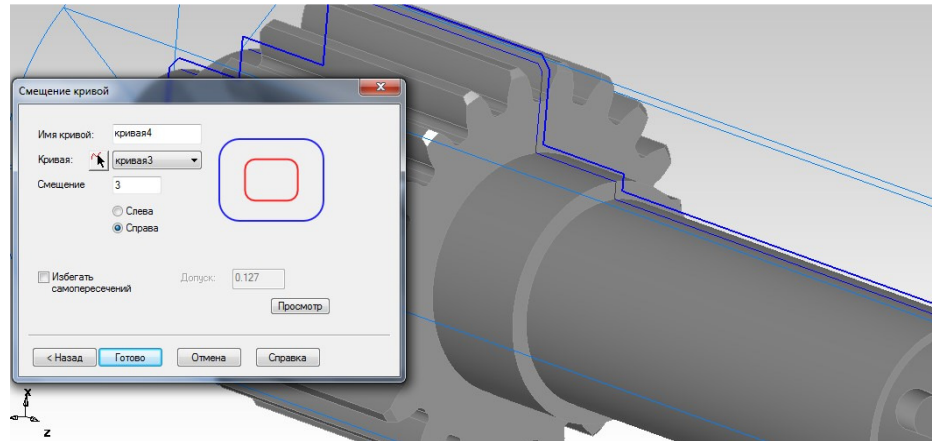


Рис. 2.18. Зміщення кривої

✓ створену криву ми і використовуємо в якості нового контуру заготовки;
✓ далі на панелі *Вид деталі* в дереві знаходимо *Заготовка1* → *Властивості* обираємо пункти *Розміри* → *Кругла* → кнопка *Крива заготовки* ставимо галку в новому вікні навпроти кривої, яка створена з урахуванням припуску на механічну обробку.

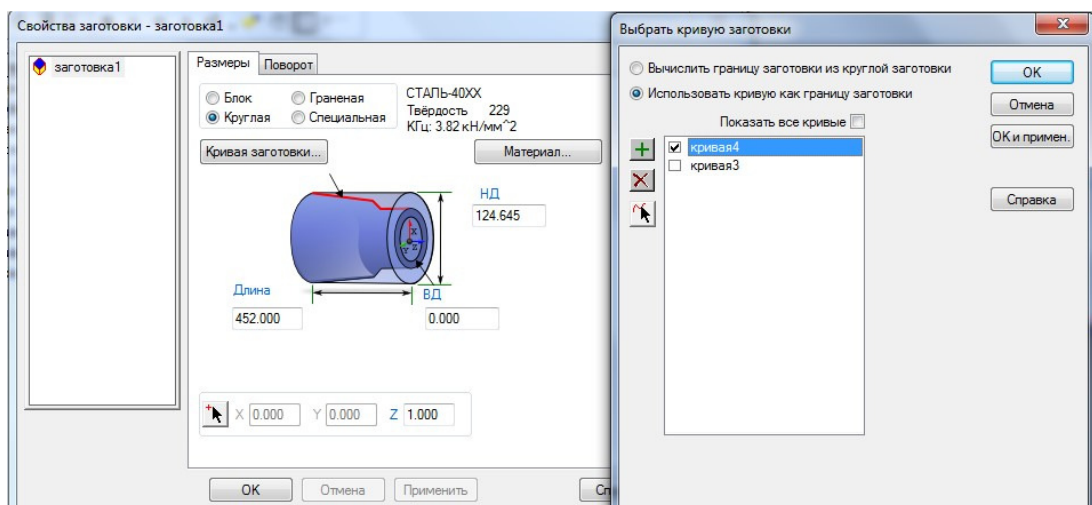


Рис. 2.19. Створення заготовки з кривої

Примітка! При правильній побудові кривої, контур заготовки побудуватися без проблем, не дивлячись за складність геометрії поверхні деталі. Правильний контур заготовки, блакитним кольором, зазначений на рисунку нижче!

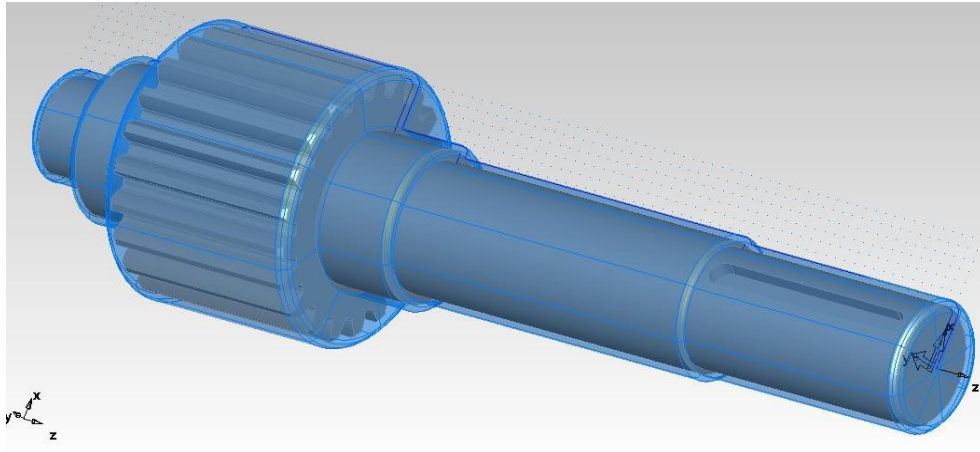


Рис. 2.20. Моделі деталі і заготовки

На цьому створення нової заготовки з кривою закінчено і можна приступати до розрахунку технології обробки валу.

Застосовуємо пункт «*Елементи*». У вікні *Новий елемент* обираємо *Точіння* → *далі* → *Торець* → *далі* → *Напрямок подачі* (індивідуально, в залежності від типу обробки) → *Положення торцю* → *далі* → *Стратегії* (кількість проходів) → *далі* → *Готово*. Майстер запропонує Вам ще кілька кроків налаштування геометрії ріжучого інструменту, напрямки і швидкості шпинделя, подачу МОР і т.п. Це все можна пропустити і додати окремо, зазначивши параметри зі довідника або ДСТУ, натиснути кнопку *Готово*.

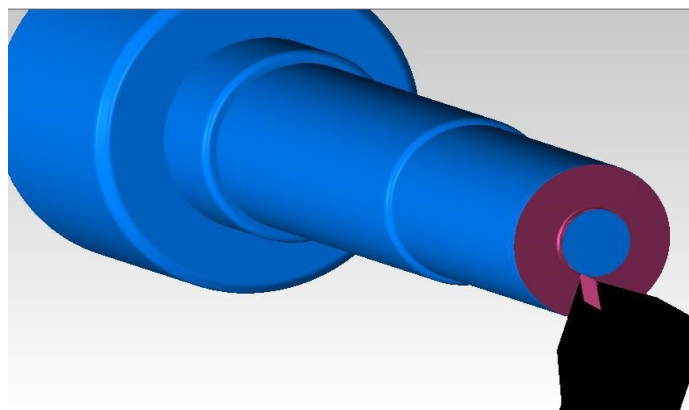


Рис. 2.21. Операція підрізання торця

Наступним кроком буде точіння деталі до максимального ступеню за два проходи: чорнової і чистової. Для цього знову будемо криву використовуючи функцію *Поєднати відрізки в незамкнуту границю...* параметра *Криві* на вкладці *Шаги*. Для вибору відрізка необхідно клацнути в кінці кривої, яку підсвічує система зеленим кольором. Далі, клацаючи на кінці наступної кривої, попередня лінія об'єднується з поточною, утворюючи замкнуту криву синього кольору. Таку процедуру необхідно продовжувати до найбільшого ступеню на валу. На останньому етапі створення кривої для токарної обробки слід змінити ім'я кривої, наприклад, *крива_токарна_1* і натиснути кнопку *Створити*.

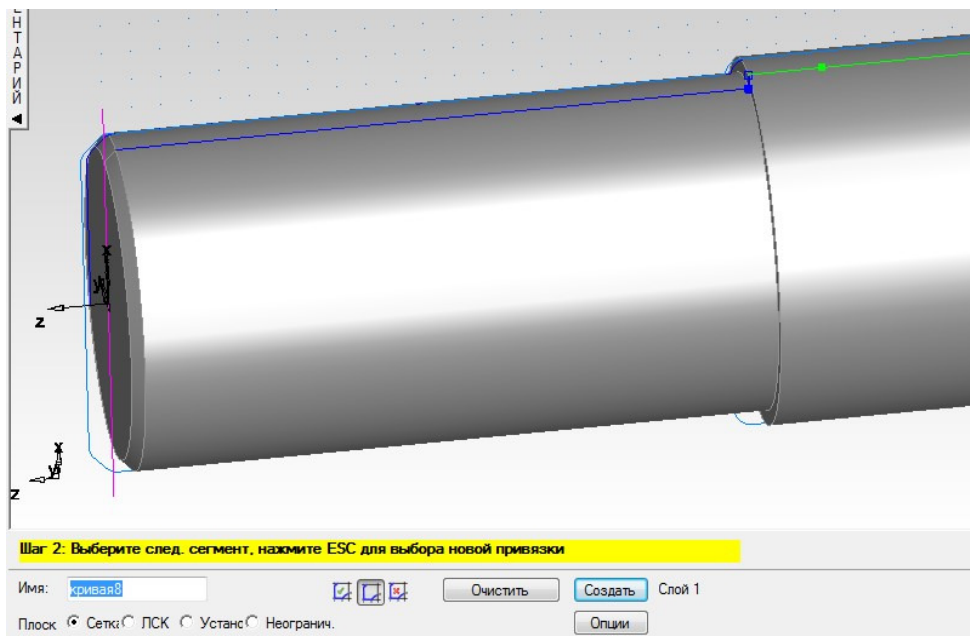


Рис. 2.22. Створення траєкторії для токарної операції з відрізків

Далі застосуємо: *Елементи* → *Точіння* → *далі* → *Від кривої*. *Точіння* → *далі* → обираємо нашу крива_токарна_1 → *далі* → *Зміщення по Z* (якщо хочете залишити припуск після проходу) → *далі* → *Готово*. При правильному розрахунку токарної стратегії, деталь прийме наступний вигляд (див. рис. нижче).

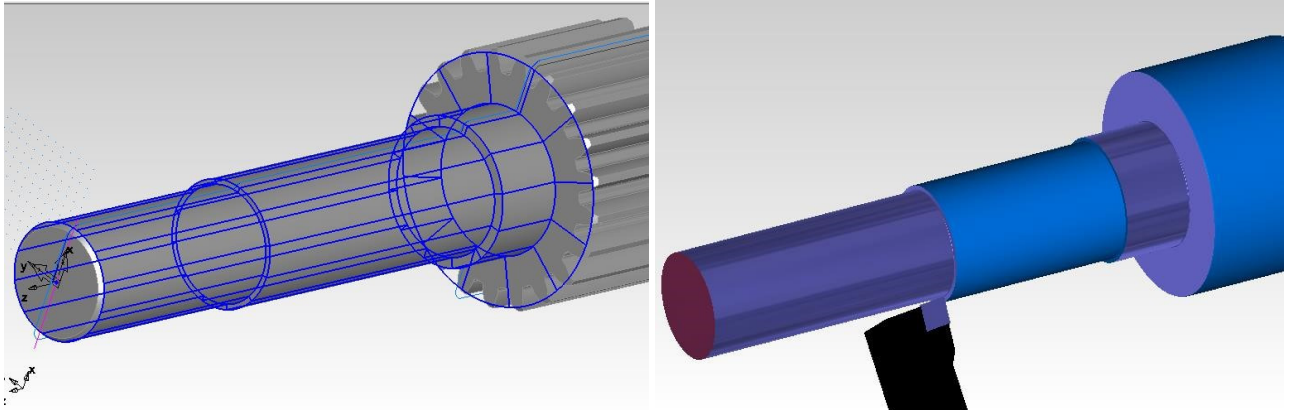


Рис. 2.23. Операція точіння бокової поверхні

Примітка! Не забуваємо, що галтелі між ступенями мають певний радіус. Цей факт необхідно враховувати при виборі геометрії токарного різця і його кута в плані, форми ріжучої пластини і величини її ріжучої кромки!

Не слід в розрахунок кривої обробки ступенів валу враховувати лінію фаски (фасок). Фаски на валу обробляйте окремо, стратегією – *Від кривої* → *Точіння* через функцію «*Елементи*».

Решта частин обробляємо аналогічним чином, створюючи криву і застосовуючи параметр *Елементи* → *Від кривої* → *Точіння*. Важливий пункт, який потрібно буде врахувати при обробці другої сторони валу – це кількість установ, напрямок ЛСК (потрібно розгорнути на 180° і перемістити на інший торець) і використання шпинделя або противошпинделю (залежить від кінематики верстата).

Фаски на валу обробляємо в останню чергу. Обробку виробляємо через відому функцію *Елементи* → *Від кривої* → *Точіння* обираємо лінію визначальну фаску, у нашому випадку це *ln118*. До розрахунку приймаємо тільки чистовий прохід. Тиснемо *Готово*.

Якщо потрібно обробити кілька фасок або радісних галтелів на валу, то стратегію потрібно призначати для кожної окремо (див. рис. нижче).

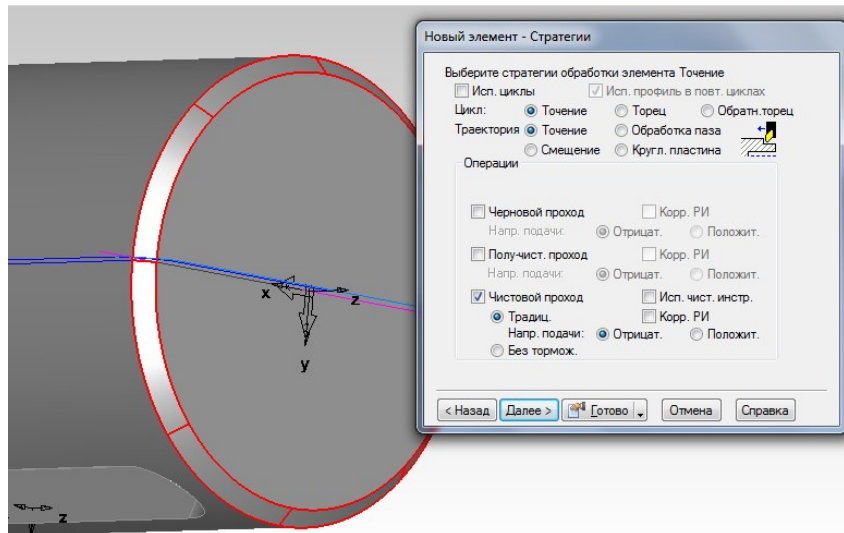


Рис. 2.24. Визначення стратегії обробки фаски

Останньою операцією за цю установку буде фрезерування закритого паза. Скористаємося функцією *Елементи* → *Точіння /Фрезерування* → *Паз* → параметр *Навколо осі обертання* → параметр *По нормалі к поверхні* (обираємо дно паза). Вісь Z повинна повернутися по нормалі до ріжучого інструменту, тобто до кінцевої фрези. Тиснемо *Далі* (див. рисунок нижче).

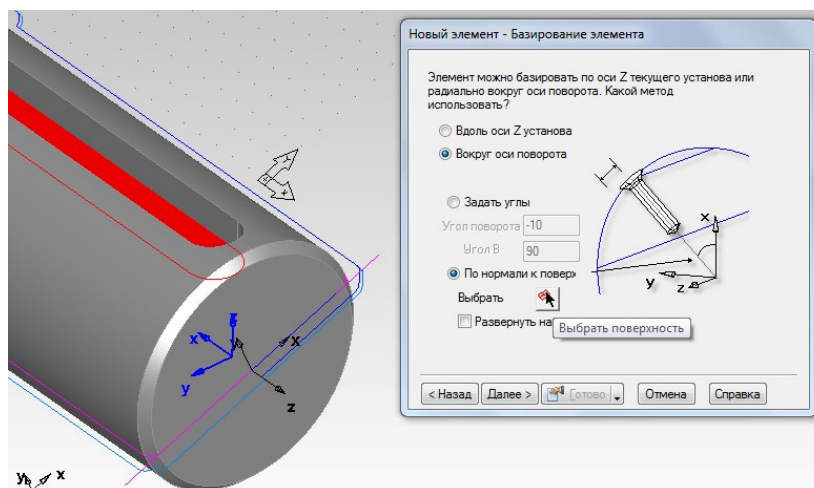


Рис. 2.25. Базування деталі для операції фрезерування пазу

На наступному етапі обираємо всі поверхні паза, які обробляються, і додаємо в вікно майстра. Тиснемо *Далі*. У нашому випадку п'ять поверхонь (виділені зеленим кольором, див. рис. нижче).

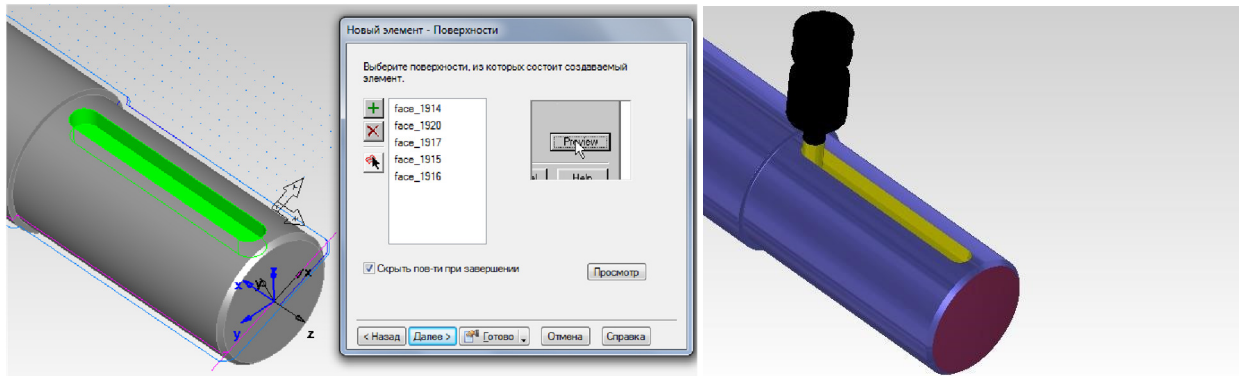


Рис.2.26. Вибір поверхонь для операції фрезерування пазу

Далі слідуючи підказкам майстра також можна вибрати стратегії обробки елемента, змінити геометрію ріжучого інструменту і інструментальний матеріал, режими різання і подачу СОР. Але ці всі параметри можна пропустити і змінити, в разі потреби, додатково у вікні операції, яка створилась. Тиснемо *Готово*.

У підсумку, після обробки валу-шестерні до найбільшої ступені, за один установ, повинна вийти наступна картина (див. рис. нижче)

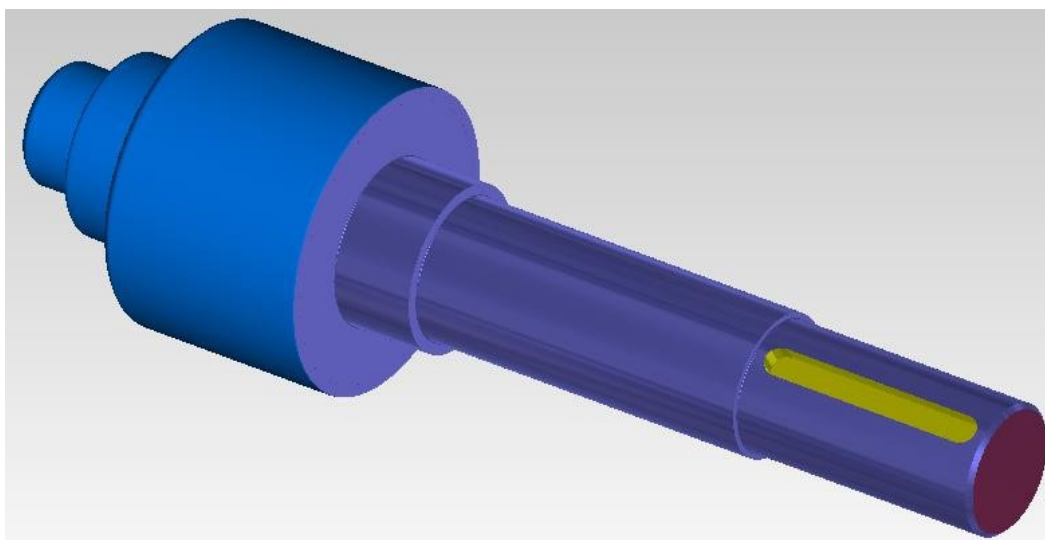


Рис. 2.27. Операція фрезерування пазу

Синім кольором, відзначена ще не оброблена поверхня заготовки. Фіолетовим, бузковим та жовтим оброблені ділянки поверхні за заданими розмірами, за один установ.

Приступаємо до обробки другої сторони валу шестерні. Створюємо другий установ, розгортаємо і переміщаємо ЛСК на другий торець деталі.

Обробка → Установи → Новий. Базуємо вісь Z на торцю заготовки, присвоюємо ім'я новому установу і вказуємо тип – токарний. Тиснемо *Готово* (див. рис. нижче).

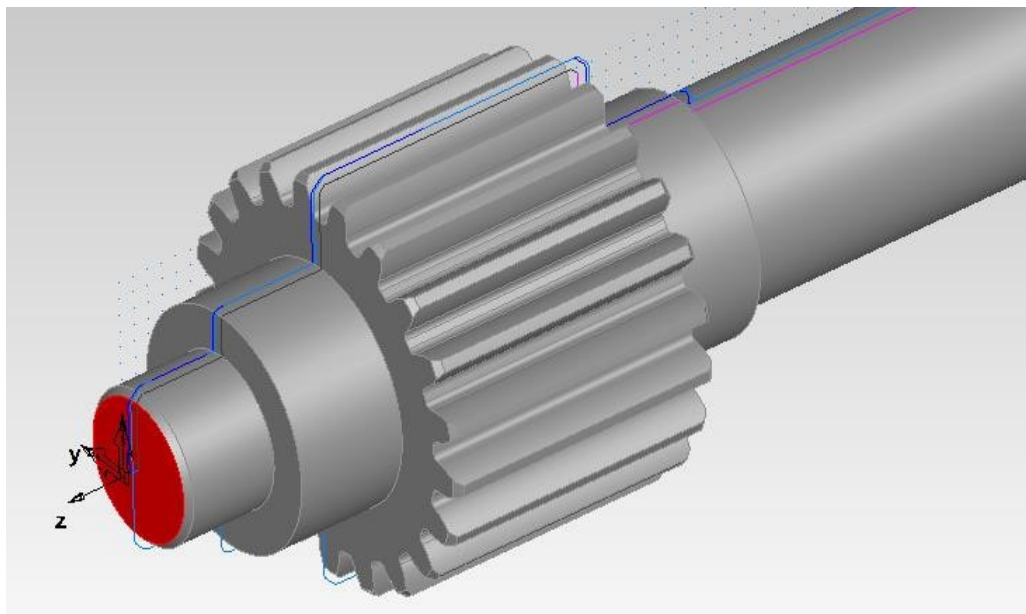


Рис. 2.28. Базування деталі при другому установі

Аналогічно методиці, що було описано вище, створюється крива_точіння_2. Застосовуємо стратегію *Точіння. Від кривої*. У підсумку отримуємо обробку 3-х ступенів валу шестерні, без фасок, зі зворотнього боку за 2-й установ (див. рис. нижче).

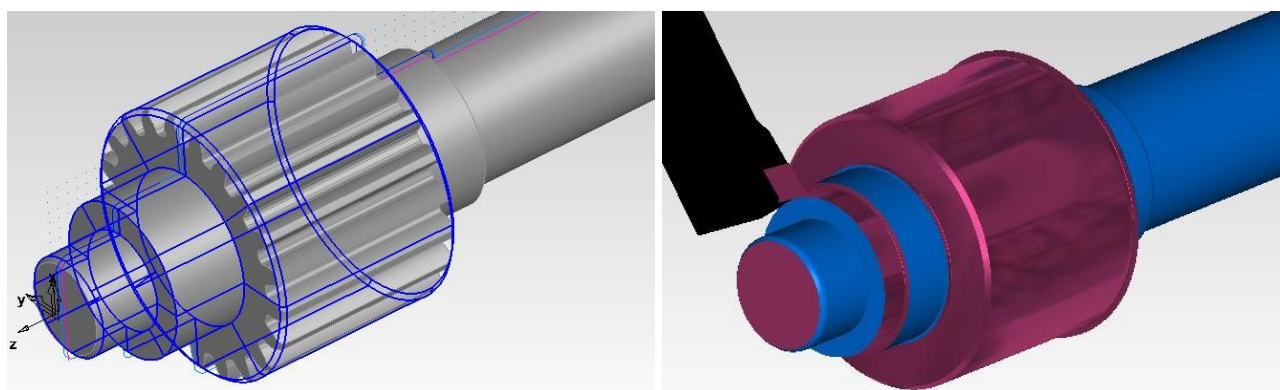


Рис. 2.29. Операція точіння бокової поверхні

Обробку фаски виробляємо через відому функцію *Елементи* → *Від кривої*. *Точіння* → обираємо лінію визначальної фаски, у нашому випадку це *лн104*. У розрахунок приймаємо тільки чистовий прохід. Тиснемо *Готово*.

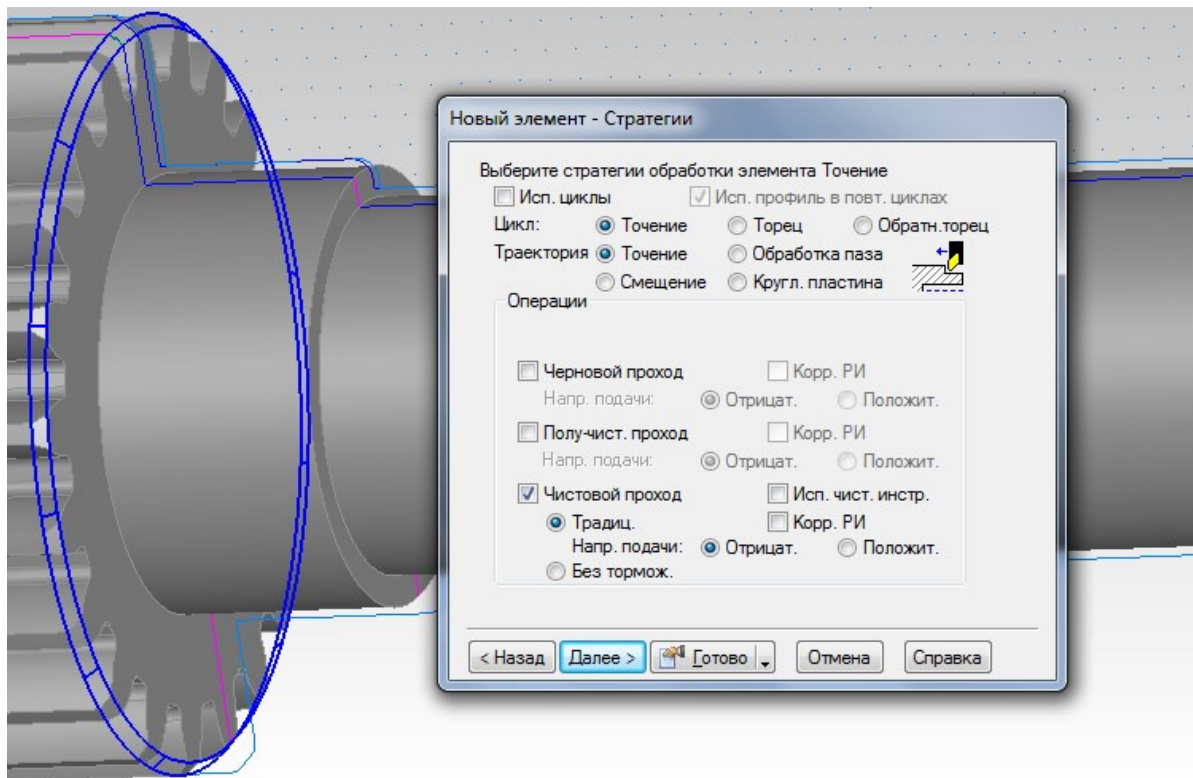


Рис. 2.30. Визначення стратегії обробки фаски

Останню операцію зняття фаски з найбільшого ступеню виробляємо в такому ж порядку, що й п.17, але замінивши напрямок подачі токарного різця до заготівки. У розрахунок приймаємо тільки чистовий прохід. Тиснемо *Готово*.

На даному етапі деталь вал шестерня оброблена на 80%. Далі залишається тільки фрезерування евольвентних зубців. Цей вид фрезерування, можливо розрахувати у Feature CAM, але потрібен спеціальний різальний інструмент (кінцева або дискова модульна фреза), який необхідно додатково моделювати і завантажити в інструментальну базу Feature CAM.

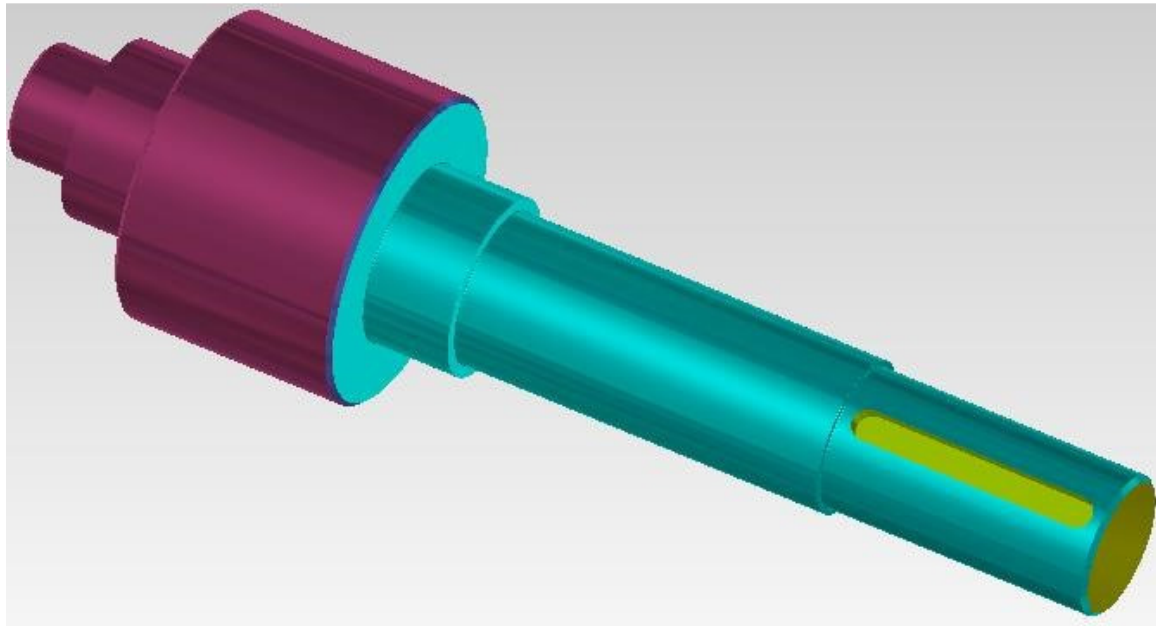


Рис. 2.31. Тривимірна модель деталі після токарної обробки

Примітка! Слід пам'ятати, що усі розрахункові операції по механічній обробці заготовлі необхідно обов'язково застосовувати в одній установі, для якого раніше була призначена локальна система координат, відносно якої прораховувалися усі рухи інструменту, урізування, підводи і переходи. Якщо Вам необхідно виконати обробку заготовлі з іншого боку, необхідно створити новий установ, з новою локальною системою координат, використовуючи команду *Обробка* → *Установи* → *Новий*.

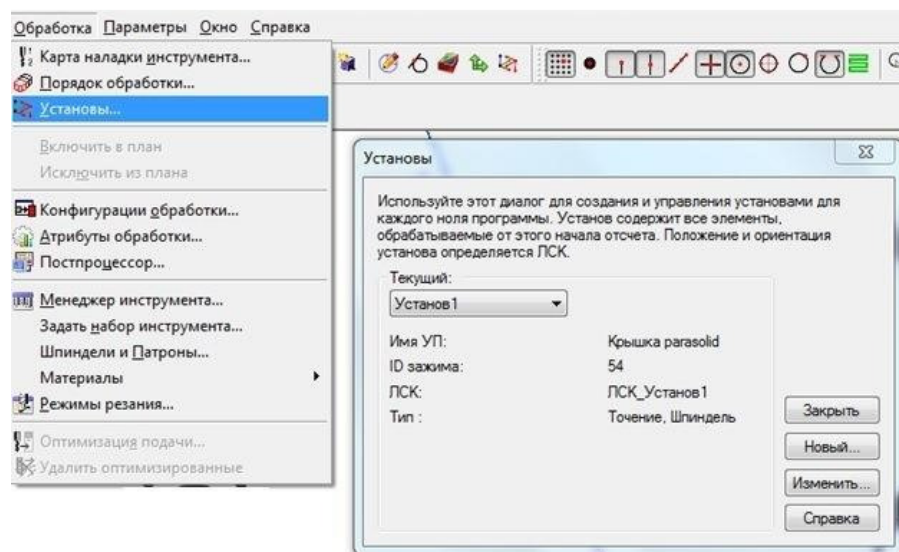


Рис. 2.32. Створення нового установу

На одному з кроків створення нового установка система поставить питання, який шпиндель слід використати. Якщо за технологією обробки перехоплення заготовлі контршпинделем не передбачено, необхідно вибрати параметр Шпиндель. У такому разі передбачається, що заготовля встановлюватиметься заново вручну оператором верстата або маніпулятором на верстаті. Якщо ж за технологією передбачено автоматичне переустановлення в контршпинделі і кінематику вибраного верстата з ЧПУ дозволяє це виконати, слід встановити параметр *Контршпиндель*.

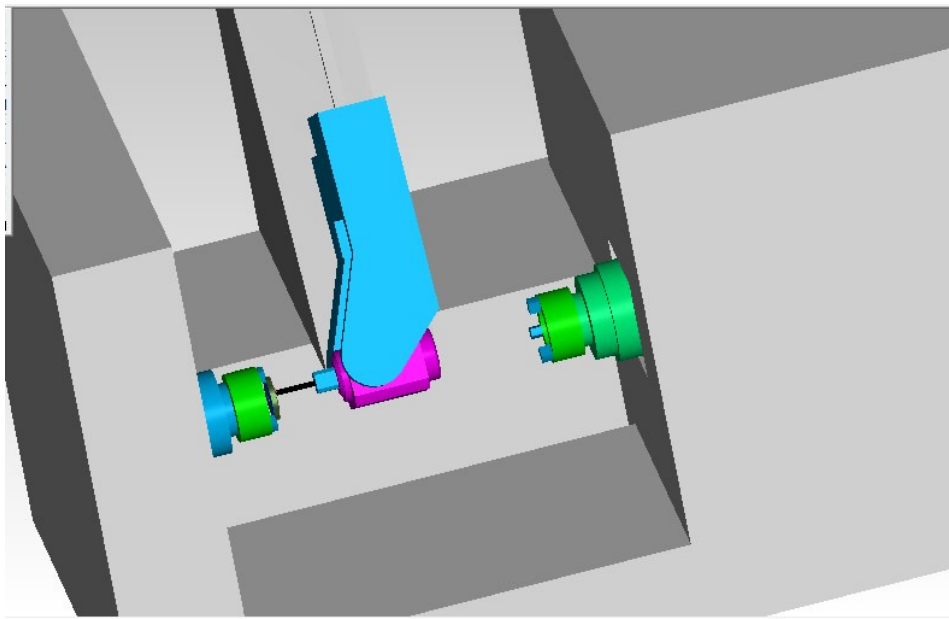
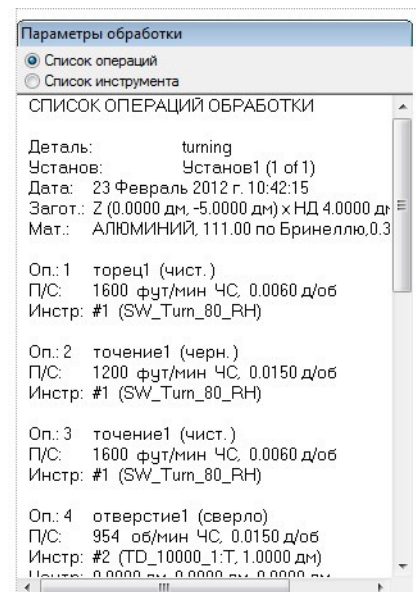


Рис. 2.33. Контршпиндель

Разом з візуалізацією обробки деталі імітація також створює повні списки інструменту і операцій. Вибрані інструменти засновані на базі сучасних, прогресивних інструментів зарубіжних виробників з Азії, Європи і Америки. Можна роздрукувати усю цю інформацію для використання як технологічної карти оператора. Натиснувши на вкладку Параметри у вікні Результати, відобразитися список операцій обробки. Виберіть опцію Список інструменту у верхній частині вкладки Параметри, щоб показати лист Специфікація



інструменту обробки. Він містить усі інструменти, використовувані для створення деталі, на основі вибраного набору.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Для яких цілей потрібна програма Feature CAM?
2. Які види механічної обробки можливо виконати в Feature CAM? 3. Чи можливо програмувати в Feature CAM операції зенкування, резьбофрезерування, ступінчасте свердління, подання прутка?
4. Чи є можливість задіяти противошпindel в розрахунках Feature CAM?
5. Чи можливо в середовищі Feature CAM змінювати геометрію різального інструменту і оснащення?
6. Скільки існує способів створення траєкторій в Feature CAM?
7. Як перемістити/повернути раніше враховану ЛСК деталі?
8. Чи можливо в Feature CAM програмувати електроерозійну обробку?
9. Чи можливо в Feature CAM виконати дизайн симулятора верстата?
10. Як необхідно встановити ЛСК деталі перед початком розрахунку проекту технології обробки в Feature CAM?

3. СТВОРЕННЯ КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ В СИСТЕМІ FEATURE CAM

Керуюча програма – це набір даних в заданому форматі (на мові конкретного ЧПК) для управління переміщенням робочих органів верстата, а також іншими встановленими на ній пристроями. Необхідно знати, що перед створенням файлу КП (NC- файлу) обов'язково має бути задіяний файл постпроцесора (файл опцій) конкретного верстата. Без нього і спеціального модуля у будь-якій САМ програмі неможливо отримати початковий код технології обробки.



Рис. 3.1. Зовнішній вигляд верстата з ЧПК

Перш ніж виконувати операцію розрахунку керуючої програми (далі КП), необхідно розуміти, що для кожного верстата існує свій індивідуальний постпроцесор. Приміром, не можна при створенні КП для верстата HAAS, враховувати постпроцесор від верстата OKUMA і навпаки. Сам опційний файл має структуру як показано на рисунку нижче.

Постпроцесор містить в собі уся інформація про конкретний верстат. У постпроцесор поміщені геометричні параметри верстата, функціональні можливості рухливих механізмів і агрегатів на верстаті, також в опційному файлі закладена інформація про конфігурацію устаткування і систему ЧПУ. У опційний файл постпроцесора закладена уся кінематика верстата з ЧПУ.

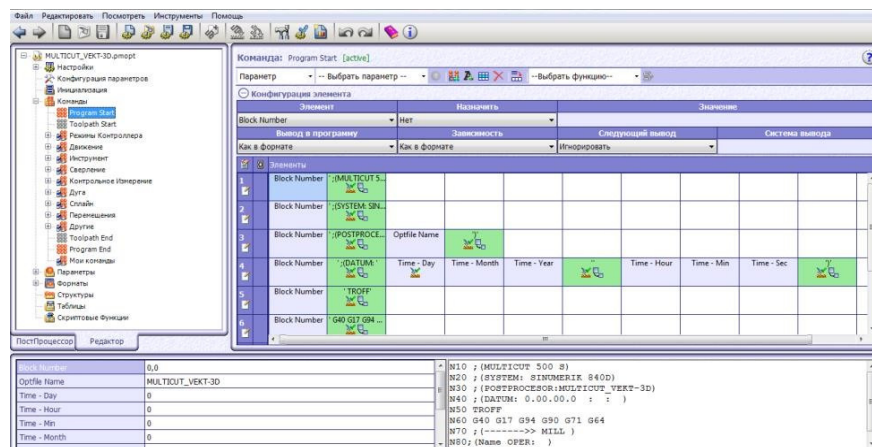
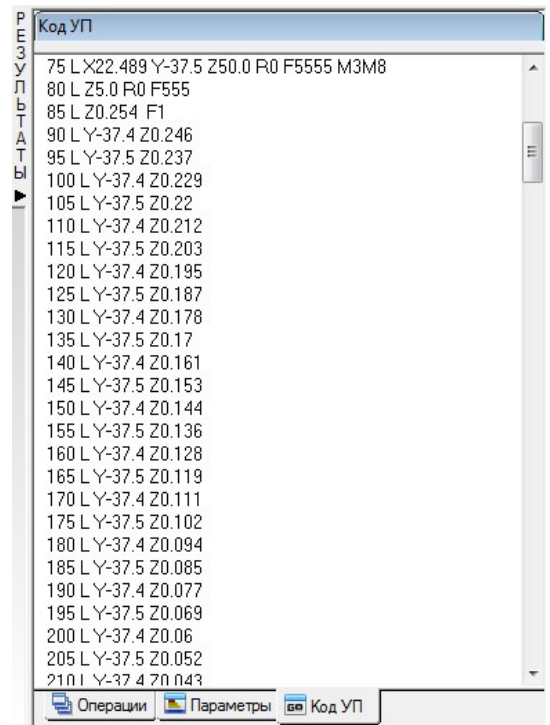


Рис. 3.2. Структура опційного файлу КП

У Feature CAM керуюча програма генерується автоматично. Проглянути код УП можливо у вкладці Код УП вікна «Список операцій» або кнопка «Код УП» з вкладки Кроки.

Постпроцесор і симулятор верстата в системі Feature CAM встановлені за умовчанням. При необхідності, можливо, змінити і симулятор верстата і постпроцесор, але тільки на ті, які пропонує база даних. У разі, якщо Ваш проект містить певний постпроцесор і верстат, який відсутній в списку пропонованих, необхідно доповнювати самостійно у базу даних. Для виконання свого проекту студентіві досить вибрати певний верстат і постпроцесор до нього з існуючої бази.



Посилання на базу даних: C:\Program Files (x86)\Delcam\FeatureCAM\Examples\Posts або C:\Program Files (x86)\Delcam\FeatureCAM\Posts.

Щоб замінити файл постпроцесора необхідно скористатися командою *Налаштування параметрів обробки* → *Конфігурувати постпроцесор* → *Огляд з панелі Кроки*. У вкладку точіння/фрезерування вибрати з вікна бази даних необхідний опційний файл і прийняти нові параметри.

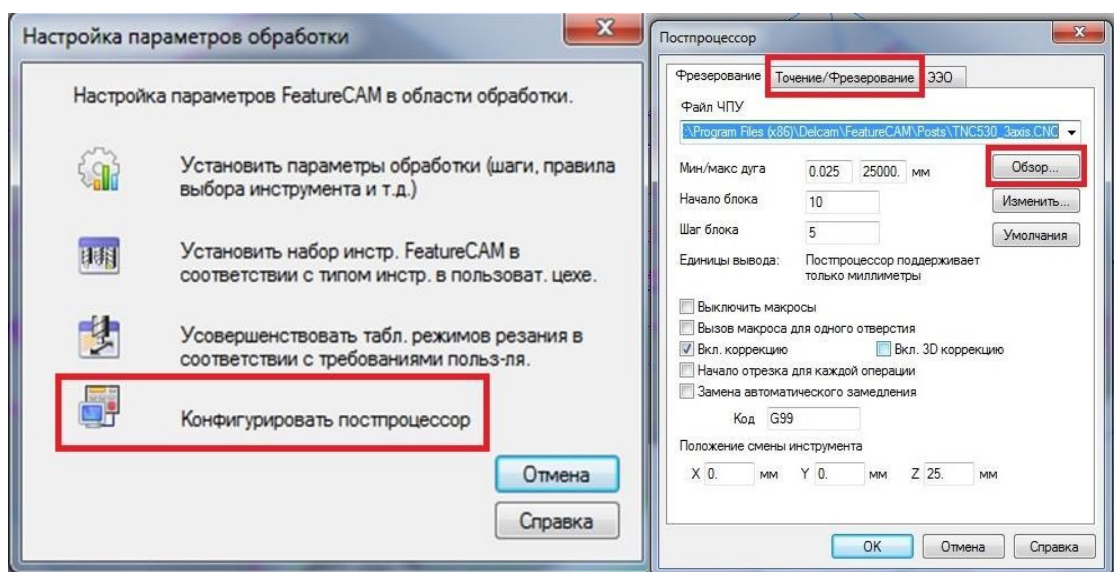


Рис. 3.3. Конфігурування постпроцесора

Після заміни файлу постпроцесора за умовчанням на потрібний, система зажадає наново згенерувати траєкторії.

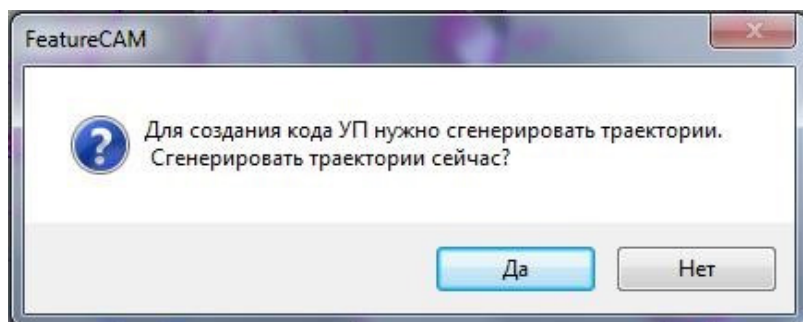


Рис. 3.4. Підтвердження генерування траєкторій

Якщо встановлений постпроцесор коректно підійшов для Вашого проекту механічної обробки, код КП (NC- файл) автоматично прорахується і видасть згенерований код у виді (див на рисунку нижче)

```
10 BEGIN PGM 106Korpus MM
15 BLK FORM 0.1 Z X-150 Y-150 Z-20
20 BLK FORM 0.2 X+150 Y+150 Z+0
25 ;*****
30 ;MACHINING TIME: 4:06.4)
35 ;(STOCK-DIMS)
40 ;(TOOL-LIST)
45 ;*****
50 ;
55 ;*****
60 ; Razmetka
65 ; _____
70 TOOL CALL 7 Z S0
75 L X22.489 Y-37.5 Z50.0 R0 F5555 M3M8
80 L Z5.0 R0 F555
85 L Z0.254 F1
90 L Y-37.4 Z0.246
95 L Y-37.5 Z0.237
100 L Y-37.4 Z0.229
105 L Y-37.5 Z0.22
110 L Y-37.4 Z0.212
115 L Y-37.5 Z0.203
120 L Y-37.4 Z0.195
125 L Y-37.5 Z0.187
130 L Y-37.4 Z0.178
135 L Y-37.5 Z0.17
140 L Y-37.4 Z0.161
```

Рис. 3.5. Згенерований код

Отриманий код КП можливо зберегти на своєму ПК або електронному носії. Далі КП, яка автоматично збереглася у форматі *CNC. чи *NC. можливо переносити на стойку верстата з ЧПУ для тестування. Перед тестуванням коду УП його можливо редагувати у будь-якому текстовому редакторі (Word Pad, AkelPad, Microsoft Office Word і тому подібне).

Якщо вимагається замінити симулятор верстата, необхідно скористатися вже відомою командою *Налаштування параметрів обробки* → *Конфігурувати постпроцесор* → *Змінити* → *Інф. про симуляцію* → *Задати .md....*

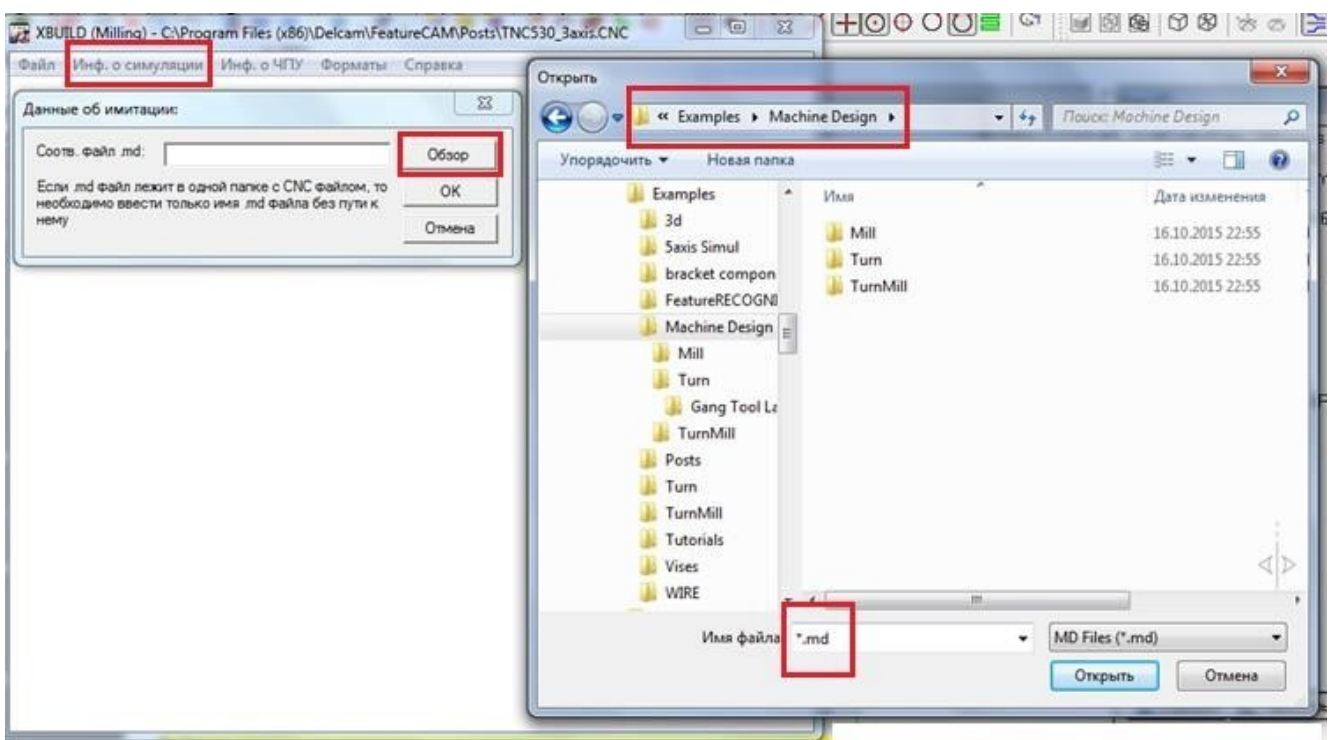


Рис. 3.6. Зміна файлу верстата (постпроцесора).

Новий верстат відобразиться при перегляді симуляції обробки якщо заздалегідь вказавши на панелі Імітація режим Імітація верстата.

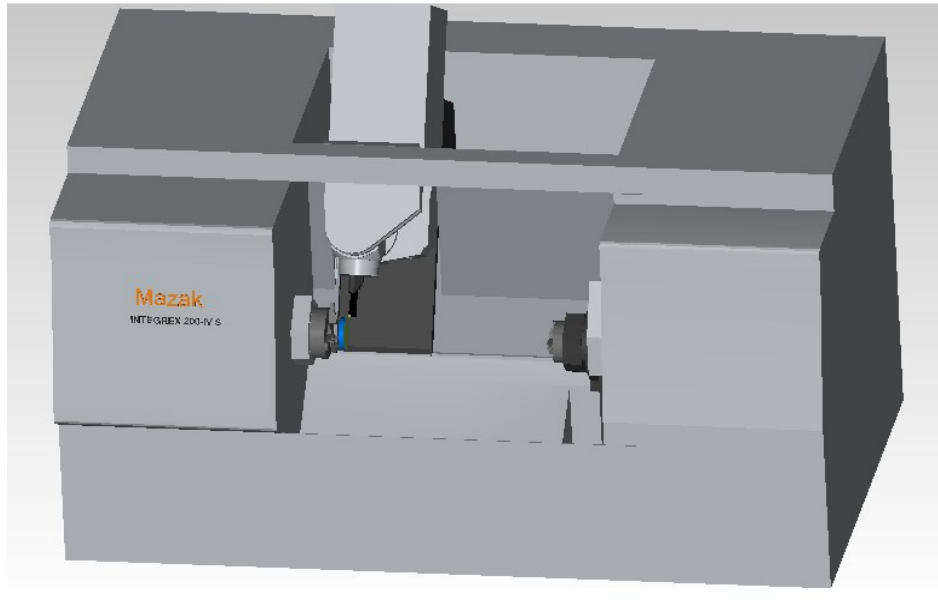


Рис. 3.7. Відображення верстата

Примітка! Нерідко відбувається так, що при початку візуалізації обробки на симуляторі верстата, заготовля має не коректний виліт з патрона по осі Z. Ця проблема вирішується через уже відому нам команду *Обробка* → *встановити* → *Змінити* → *Продовження* → *Використовувати поточний стан* → *Продовження* → *Шпиндель (Противошпиндель, на вибір)* → *далі* → *Координати нижньої точки затиску За Z*.

Встановлюйте координати методом індивідуального підбору величини координати Z виходячи від поточної.

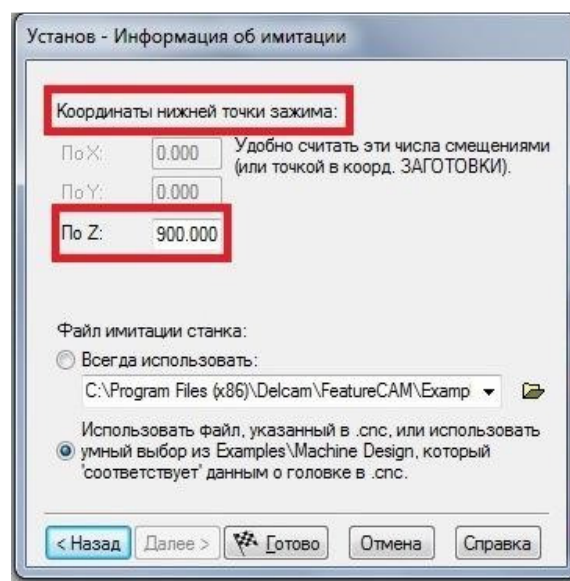


Рис.3.8. Встановлення координат нижньої точки зажиму

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке керуюча програма (КП)?
2. Що таке постпроцесор?
3. Чи можливо застосувати КП і постпроцесор до будь-якого верстата з ЧПУ?
4. З чого складається код КП?
5. Яким чином можна редагувати код КП?
6. Які команди / функції в Feature CAM відповідають за створення КП?
7. Де знаходиться база даних симуляторів верстатів і постпроцесорів для проекту Feature CAM?
8. Навіщо потрібен симулятор верстата?

ЛІТЕРАТУРА

1. Грабченко А. І., Доброскок В. Л., Пижов І. М. Світові цифрові виробничі системи та технології: навчальний посібник. – Харків: НТУ «ХПІ», 2021. – 452 с.
2. Кондратюк Е. В., Житніков В. К. Основи автоматизованого проектування в системі Creo Parametric: навч. посібник. – Северодонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2018. – 184 с.
3. Медведєв В. П. Програмування обробки на верстатах з ЧПК в системі FeatureCAM: Навчальний посібник. – Київ: КНТУ, 2019. – 210 с.
4. PTC Creo Parametric 9.0. Help Center. [Electronic resource] – Mode of access: <https://support.ptc.com>.
5. Кроль О.С., Соколов В.І. Тривимірне моделювання металорізальних верстатів та інструментального оснащення: навчальний посібник / О.С. Кроль, В.І. Соколов. – Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – 160 с.: табл. 1, рис. 144, бібліогр. назв..
6. Стадник, В. А. Розрахунок та конструювання валів. Вибір підшипників кочення за динамічною вантажопідйомністю [Електронний ресурс]: навчальний посібник / В. А. Стадник ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 15,2 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 128 с.
7. Логунов О. М., Ніколаєнко Г. П., Романченко О. В., Шумакова Т. О., Таванюк Т. Я. Комп'ютерне моделювання в курсі теорії механізмів і машин. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля № 1 (249) 2019 - С. 18-22.
8. Feature CAM. Feature MILL. Feature MILL3D. FeatureTURN. Руководство пользователя / Delcam USA // 13-я редакция. – 275 Ист Саус Темпл, Сьют 305, Солт Лэйк Сити, UT8411. – 2007. – 185с.
9. Начало работы с Feature CAM 2006. Учебный курс / Delcam USA // 12-я редакция. – 275 Ист Саус Темпл, Сьют 305, Солт Лэйк Сити, UT8411. – 2005. – 89с.

10. Autodesk FeatureCAM 2024. User Guide and Reference Help. [Electronic resource] – Mode of access: <https://help.autodesk.com>.
11. Говор П. А., Говор С. А. Автоматизація технологічної підготовки виробництва в системі FeatureCAM. – Одеса: ОНПУ, 2020. – 156 с.
12. Богуслаєв В. О. та ін. Сучасні технології машинобудування: Підручник. – Запоріжжя: АТ «Мотор Січ», 2017. – 580 с.
13. Локтєв А. А. Проектування технологічних процесів механічної обробки в САМ-системах. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2022. – 240 с.

Завдання: Автоматизоване проектування тривимірних моделей деталей та програмування токарно-фрезерних операцій на верстатах з ЧПК в системі *Feature Cam*.

Індивідуальне завдання
на практичну роботу з дисципліни
«САПР технологічних процесів»

Студенту групи

.....
(ПІБ студента)

Етапи виконання та строки	Зміст роботи	Звітний документ
Конструкторська підготовка		
Строк 1 тиждень занять	Виконати 3D-креслення валу та кришки (з курсового або дипломного проекту) в програмі <i>Creo Parametric</i> . При відсутності у студента креслень деталей можна скористатися таблицею 1 та ескізами на рис. 1-15 – для деталі вал, таблицею 2 та рис. 16 – для деталі кришка	2D-креслення на паперовому носії А3 3D-креслення на електронному носії
Технологічна підготовка		
Строк: 4 тиждень занять	Розробити технологічний процес токарно-фрезерної обробки деталей вал та кришка в програмі <i>FeatureCam</i>	Візуалізація технологічного процесу механічної обробки в програмі <i>Feature Cam</i> на електронному носії.
Строк: 11 тиждень занять	Розробити програму механічної обробки зворотного валу в кодах ISO і в кодах застосованої системи ЧПК за допомогою програми <i>FEATURE CAM</i>	На паперових та електронних носіях з розшифровкою кодів, записаних в кадрах програми

Варіанти завдань для деталі «Вал»

Номер варіанту	Найменування деталі	Номер рисунку	Матеріал	Програма випуску деталей на рік, <i>N, од./рік</i>
1	Вал шліцьовий	1	Сталь 12ХН3А	10000
2	Вал проміжний	2	Сталь 40Х	5000
3	Вал шліцьовий	3	Сталь 40ХН	10000
4	Вал шліцьовий	4	Сталь 45	20000
5	Вал шліцьовий	5	Сталь 20Х	50000
6	Вал шліцьовий	6	Сталь 45Х	2000
7	Вал ступінчастий	7	Сталь 45	6500
8	Вал шліцьовий	8	Сталь 18ХГТ	8000
9	Вал шліцьовий	9	Сталь 45	15000
10	Вал	10	Сталь 25	2500
11	Вал шліцьовий	11	Сталь 18ХГТ	10000
12	Вал ступінчастий	12	Сталь 45	2000
13	Вал шліцьовий	13	Сталь 20Х	1000
14	Вал шліцьовий	14	Сталь 40ХН	1000
15	Вал шліцьовий	15	Сталь 20Х	2500

Примітка: при розрахунку проекту технології механічної обробки деталі «Вал» в програмі Feature CAM, слід обов'язково врахувати вихідні дані марки матеріалу деталі та програму випуску деталі. Режими різання повинні бути узгоджені з маркою матеріалу деталі з табличних даними довідників і каталогів згідно ISO.

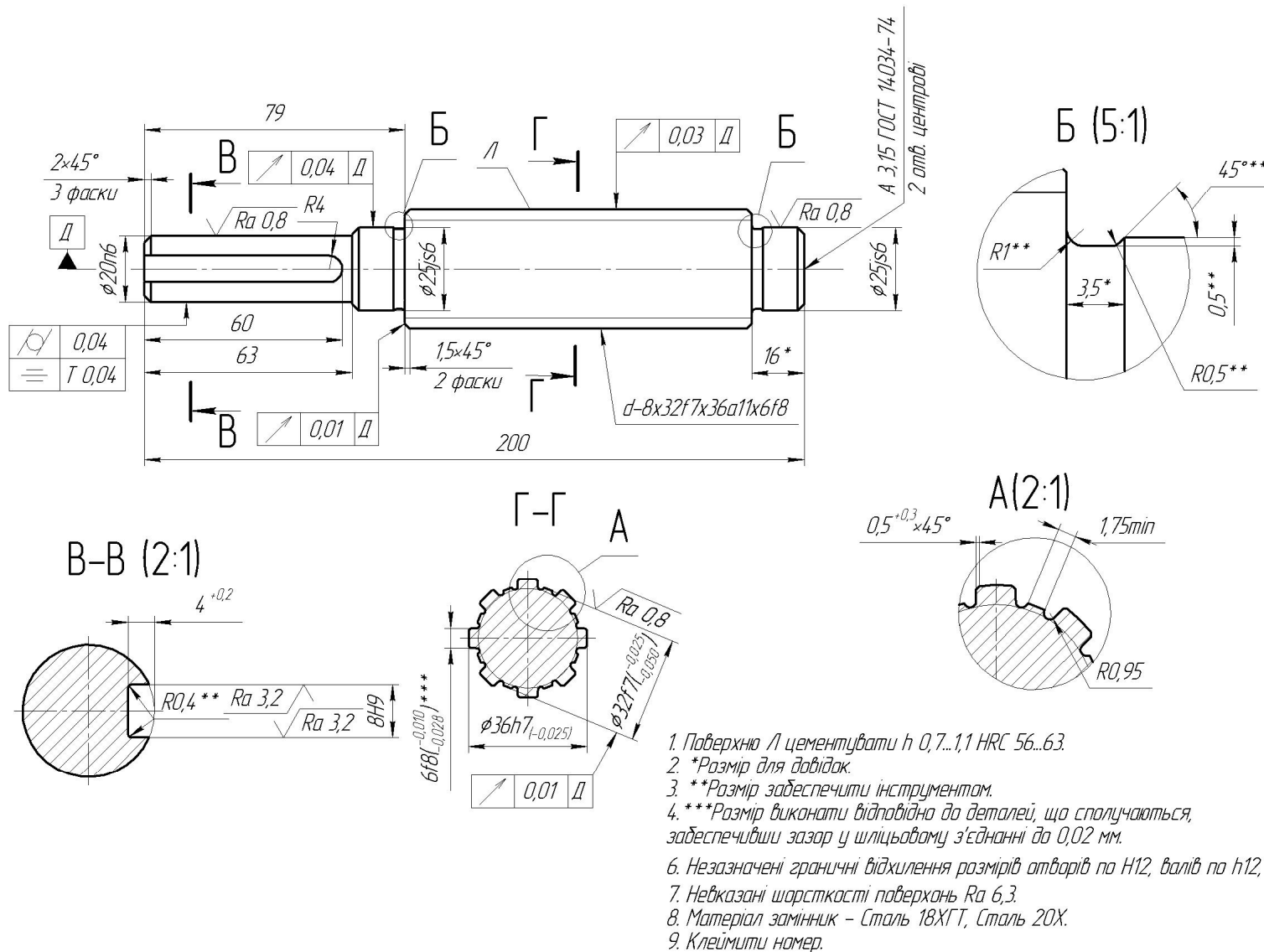
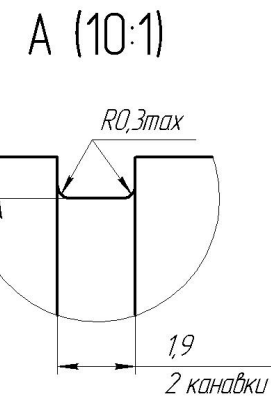
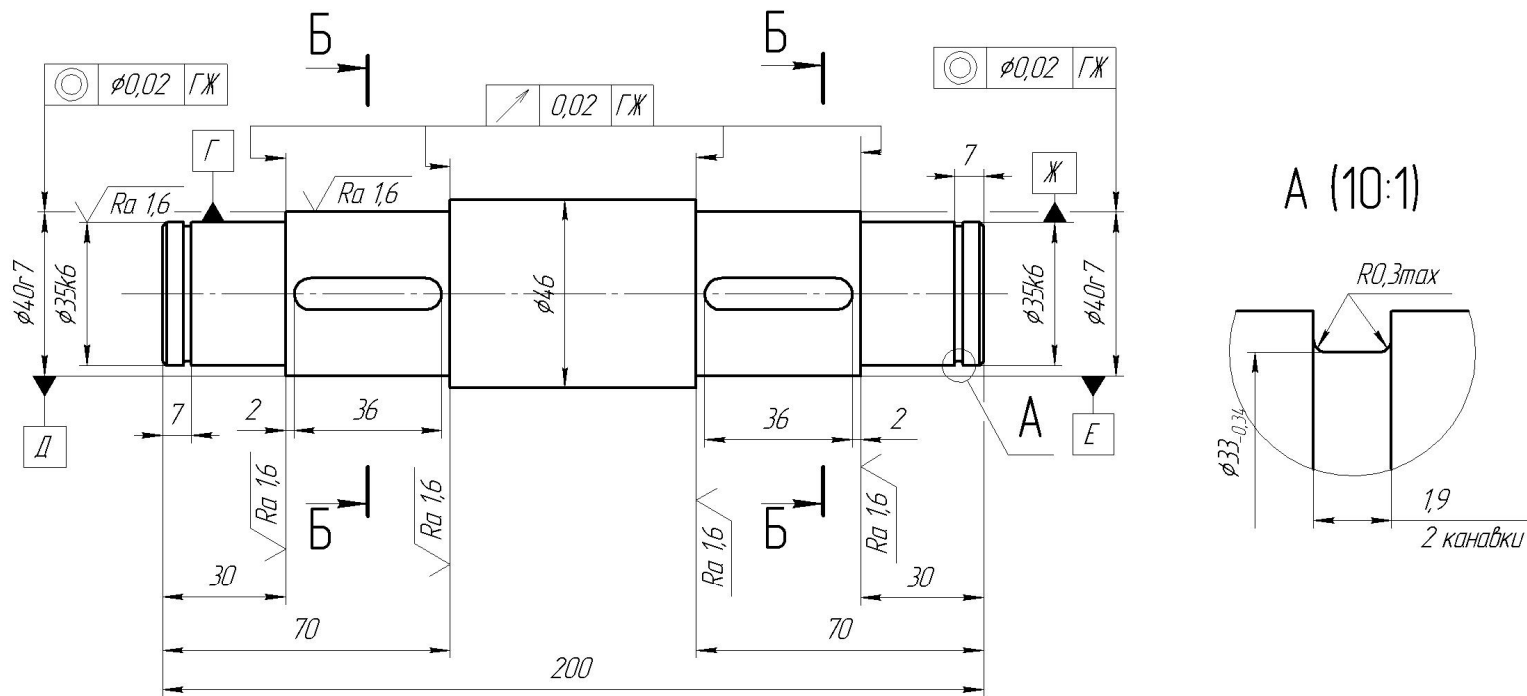
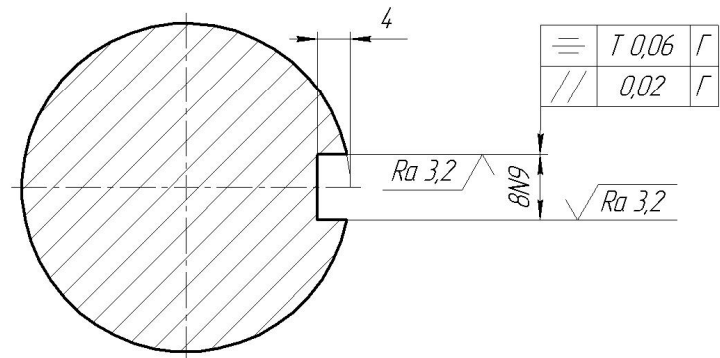


Рис. 1. Ескіз деталі «Вал шліцьовий»



Б-Б (2:1)



1. Невказані відхилення розмірів по h12; H12; ±IT12/2.
2. Невказані фаски 1×45°.
3. Невказані шорсткості поверхонь Ra 12,5.

Рис. 2. Ескіз деталі «Вал проміжний»

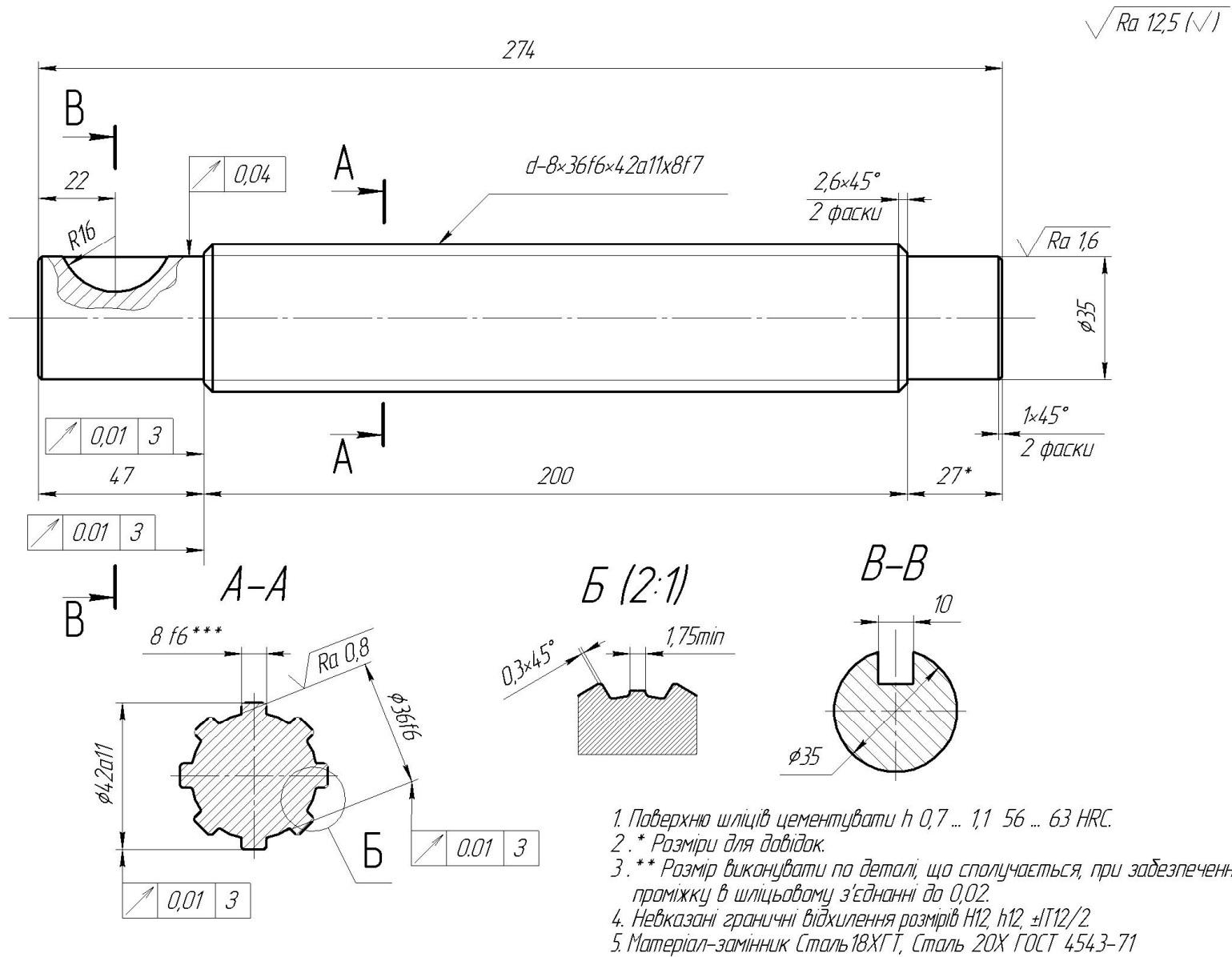


Рис. 3. Ескіз деталі «Вал шліцьовий»

$\sqrt{Ra\ 6,3\ (\checkmark)}$

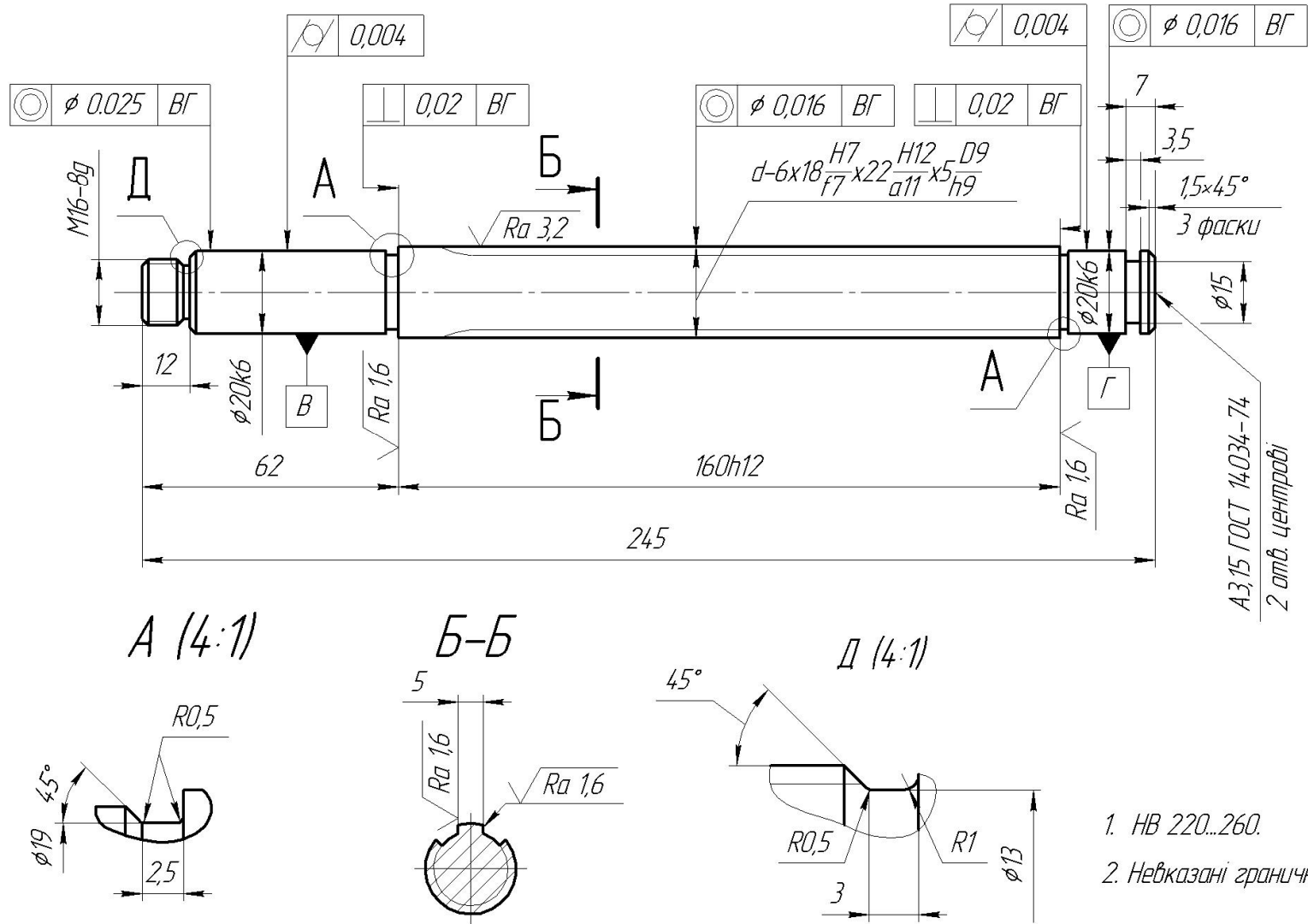


Рис. 4. Ескіз деталі «Вал шліцьовий»

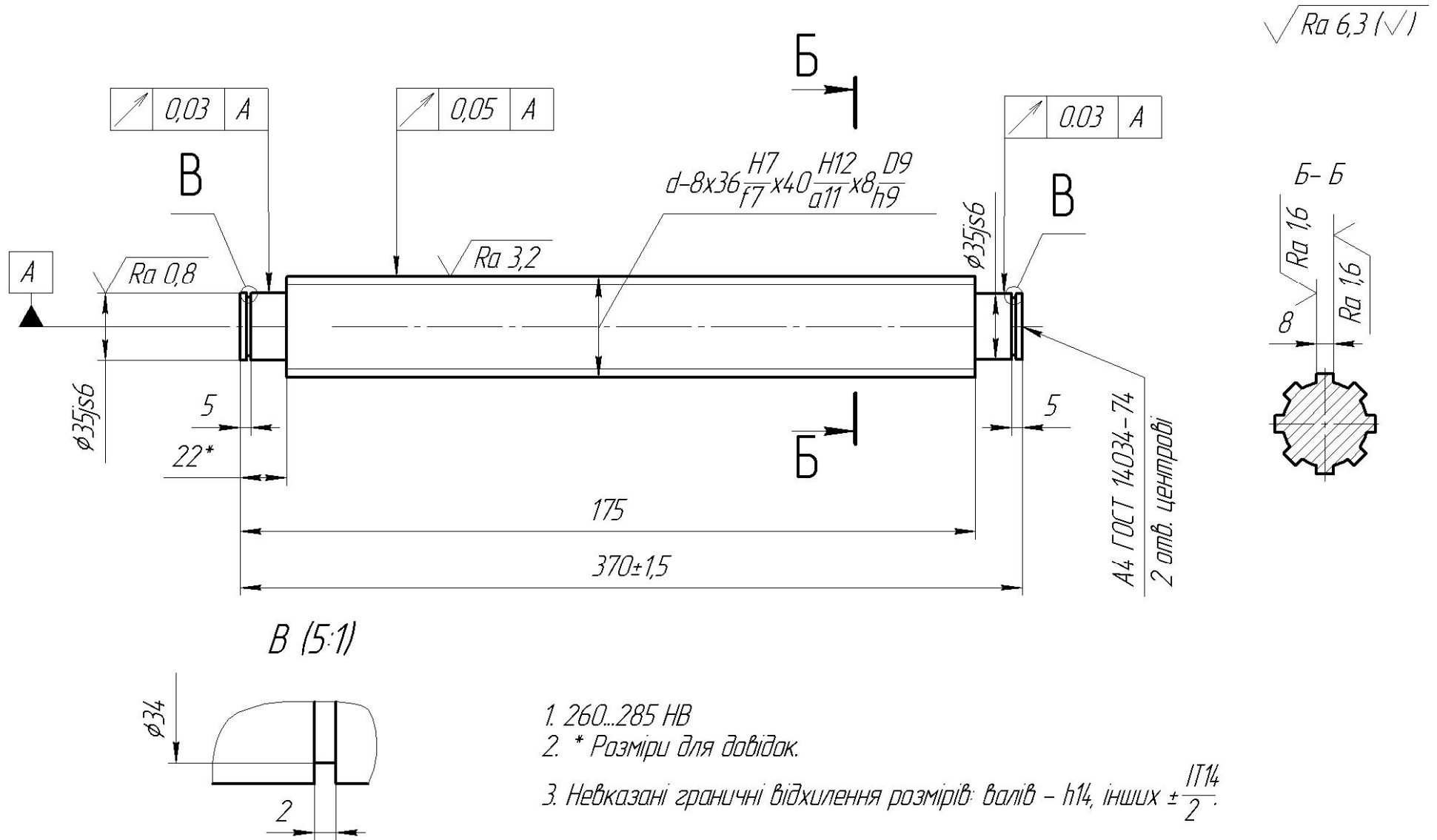
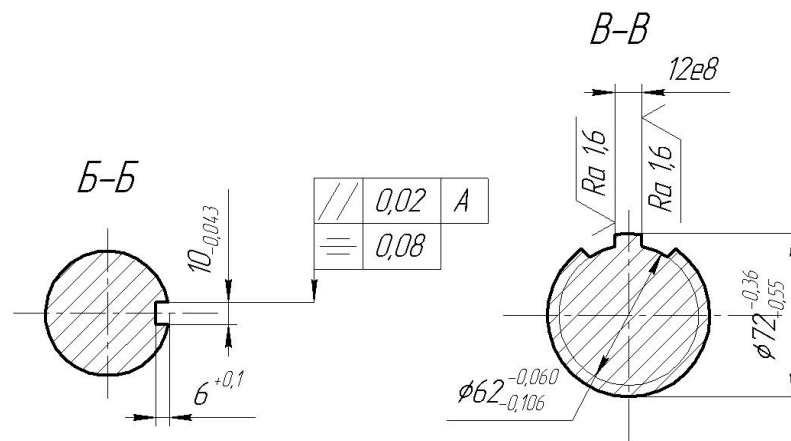
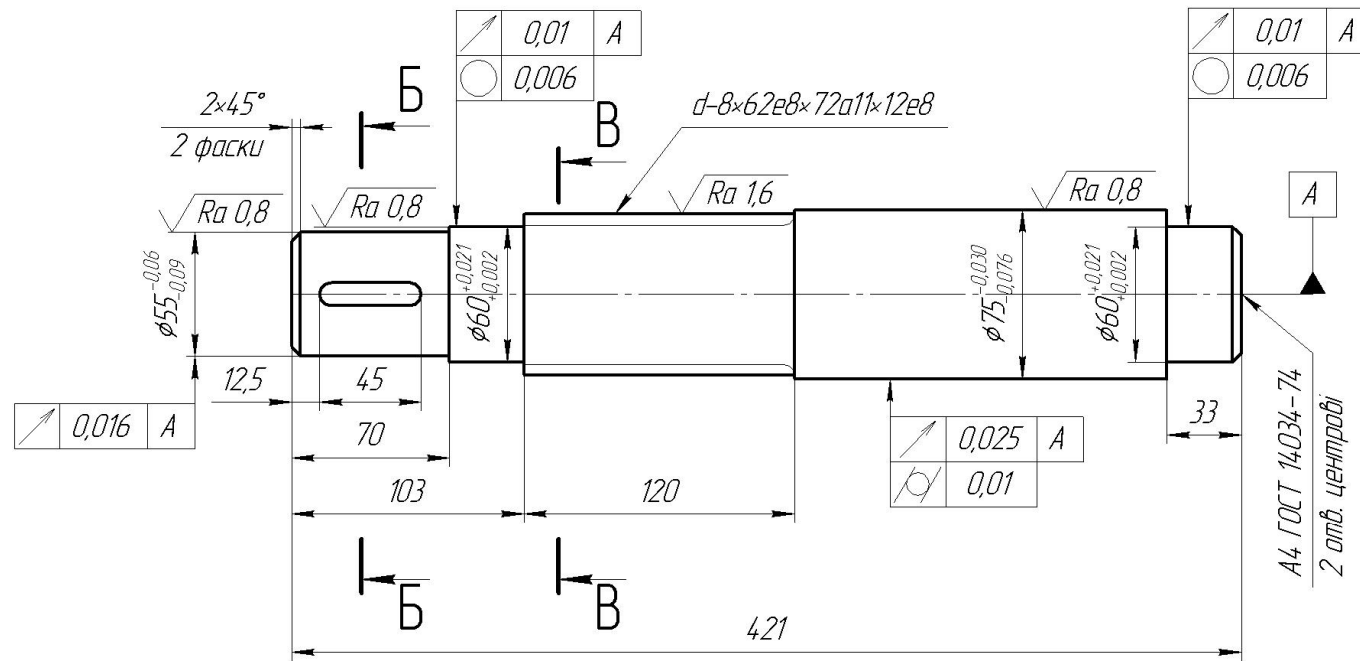


Рис. 5. Ескіз деталі «Вал шліцьовий»

$\sqrt{Ra\ 6,3}$ (✓)



1. HB 210 ... 260.
2. Незазначені граничні відхилення розмірів отворів по H14, валів по h14, інших $\pm \frac{IT}{2}$.
3. Зміщення паза 10N9 щодо вісі вала не більше 0,05 мм.
4. Граничні відхилення радіусів і фасок по 1-му ряду точності СТ СЕВ 302-78.

Рис. 6. Ескіз деталі «Вал шліцьовий»

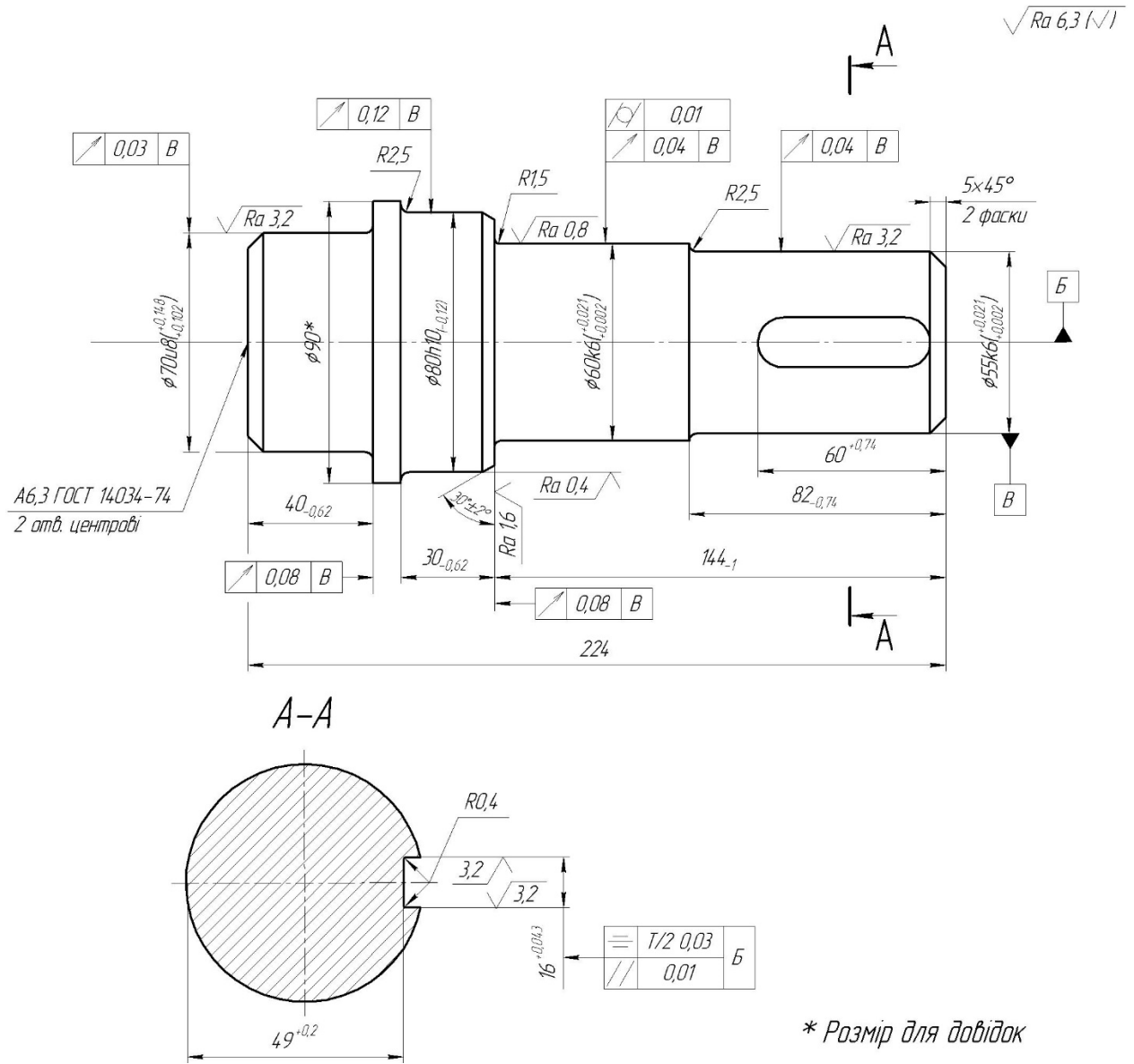


Рис. 7. Ескіз деталі «Вал ступінчастий»

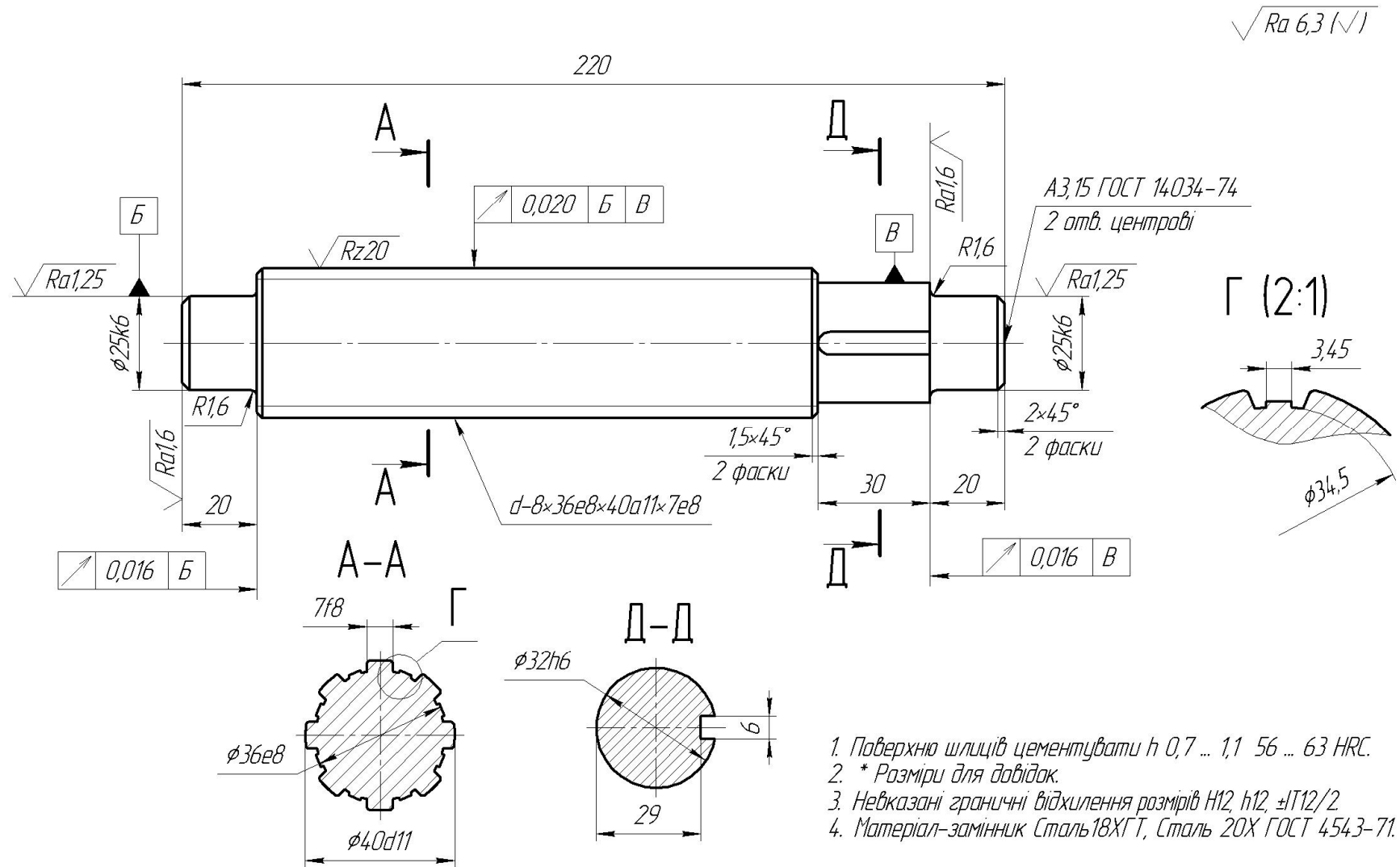


Рис. 8. Ескіз деталі «Вал шліцьовий»

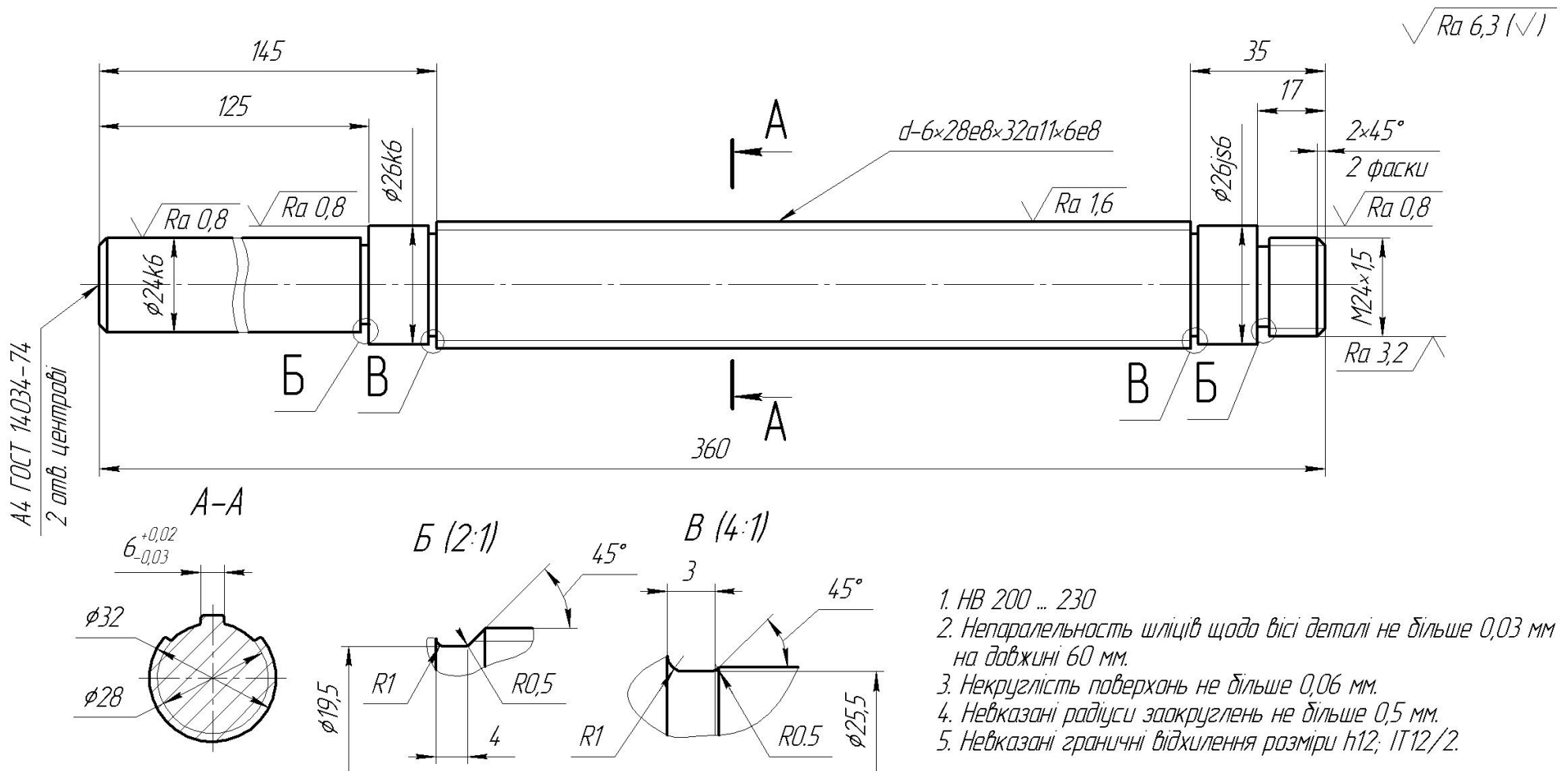


Рис. 9. Ескіз деталі «Вал шліцьовий»

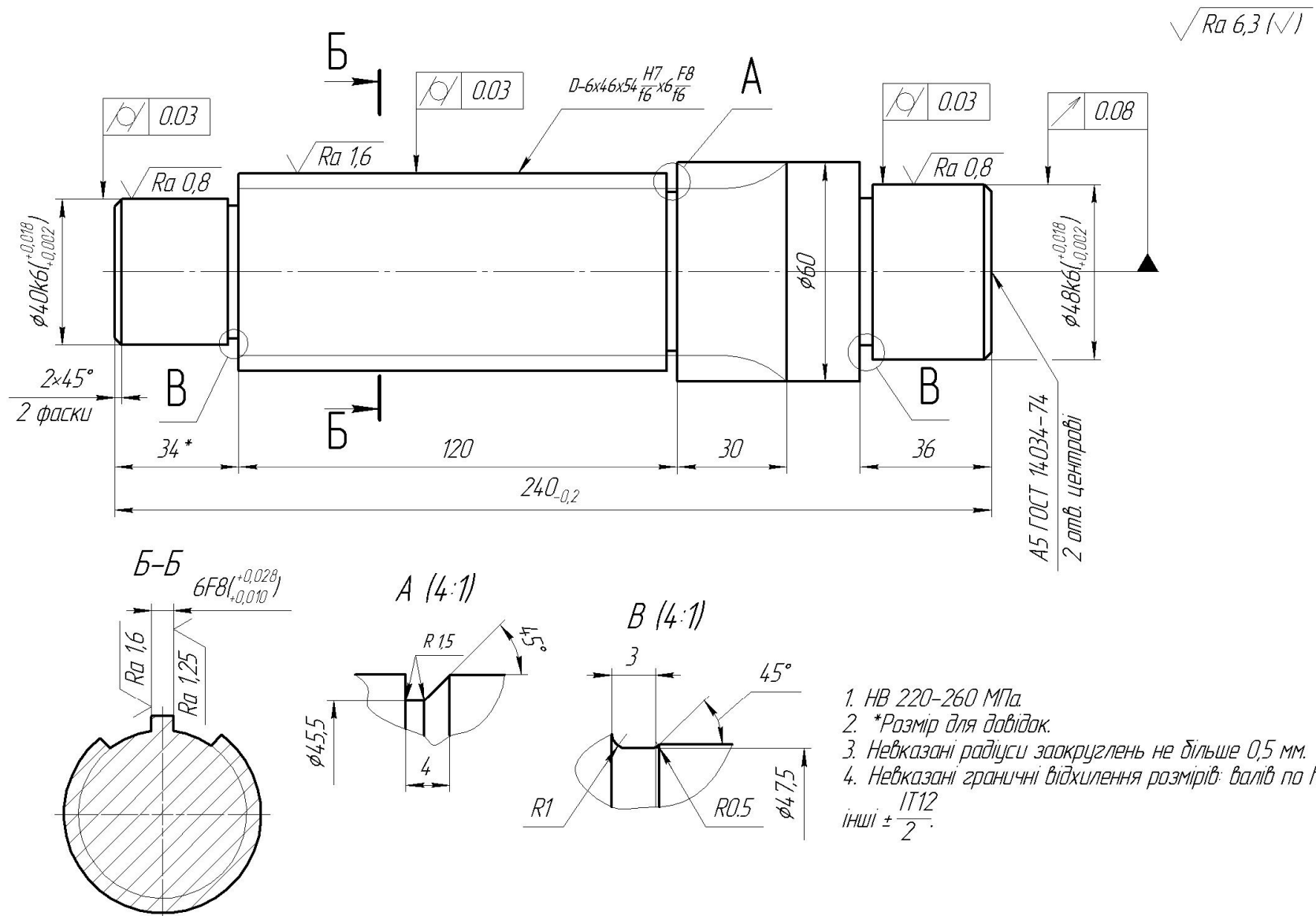


Рис. 10. Ескіз деталі «Вал шліцьовий»

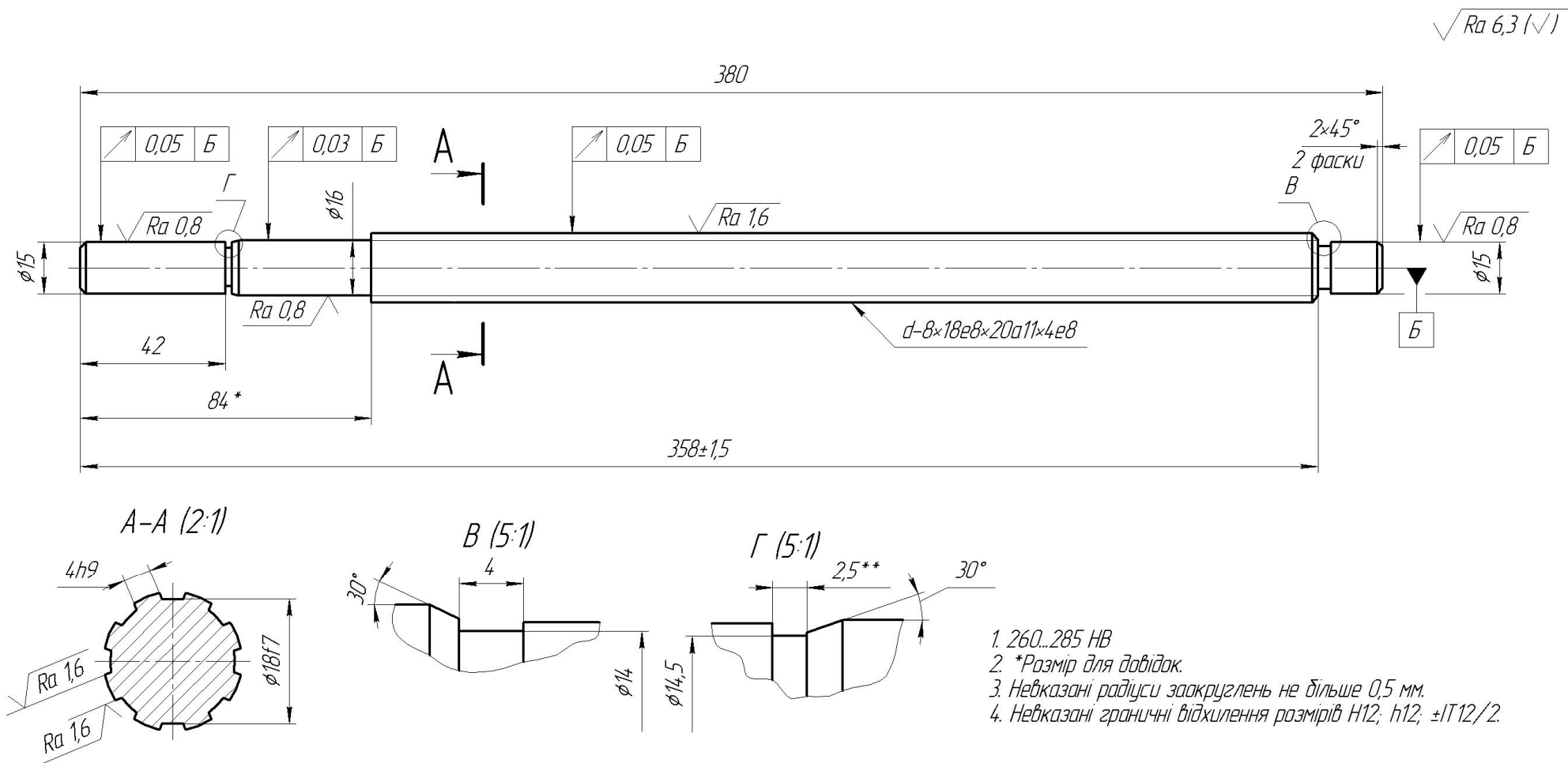
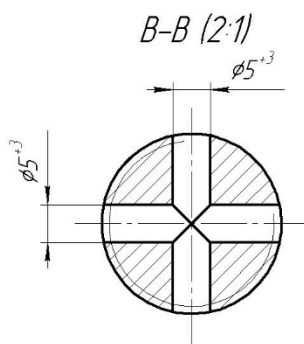
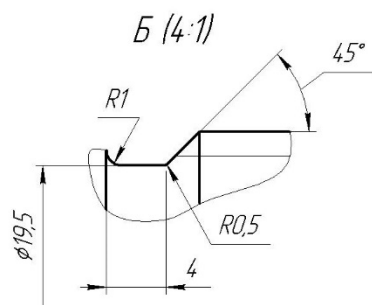
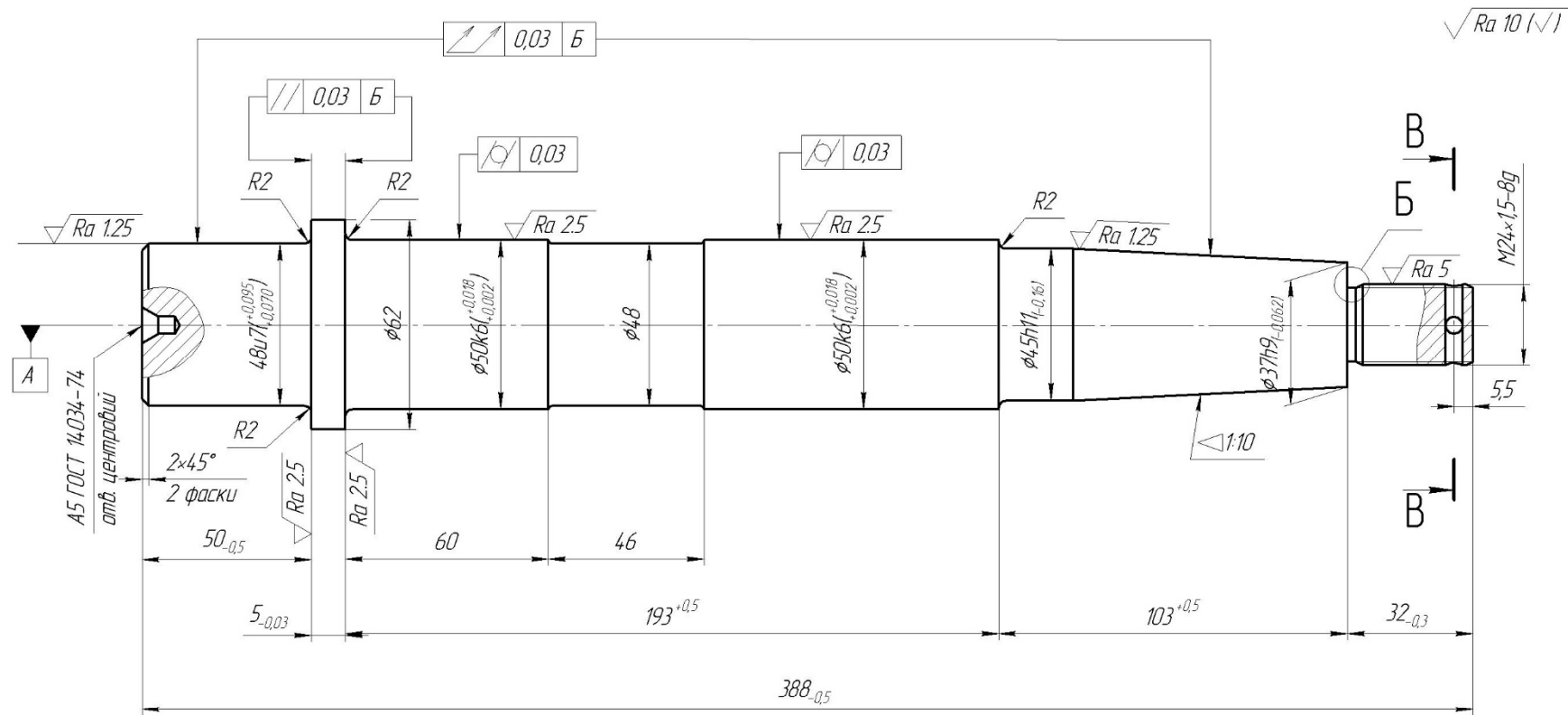


Рис. 11. Ескіз деталі «Вал шліцьовий»



1. Твердість 177.....229 НВ.
2. Інші загальні допуски за $H14, h14 \mp \frac{IT14}{2}$.
3. Інші технічні вимоги згідно ГОСТ 3480-76

Рис. 12. Ескіз деталі «Вал ступінчастий»

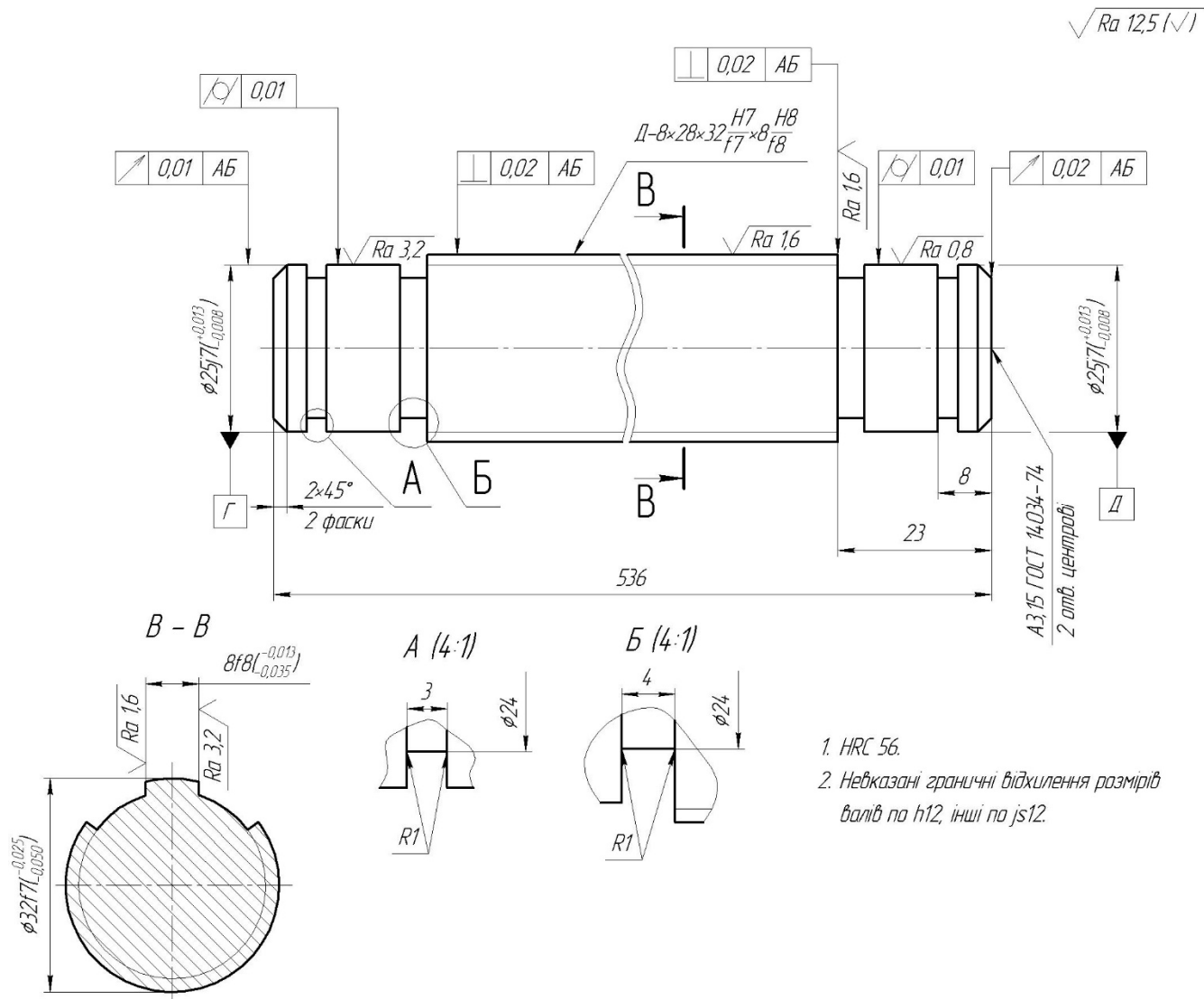
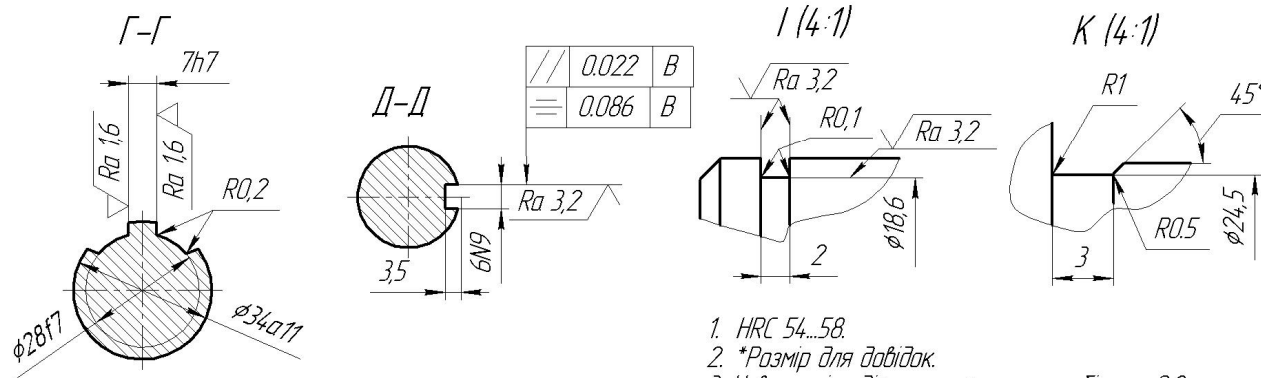
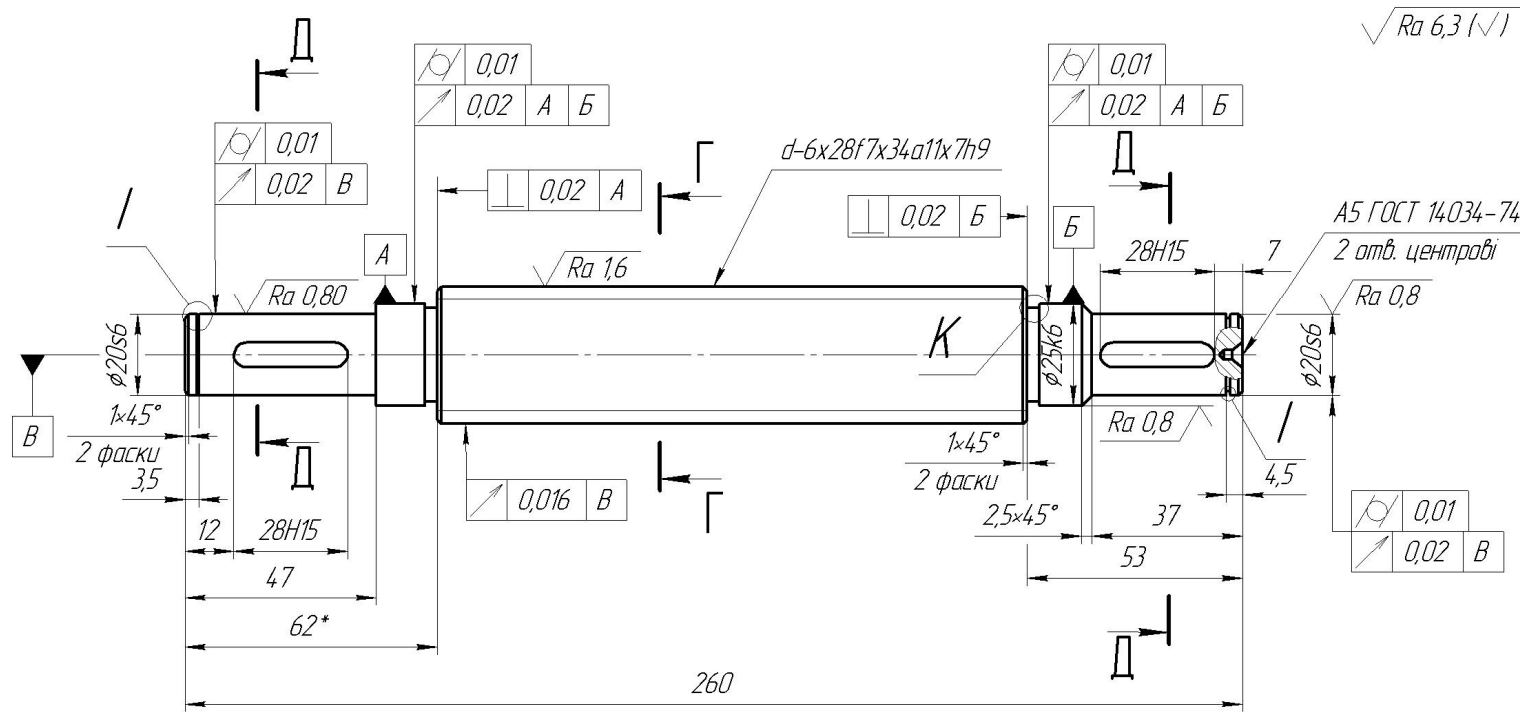
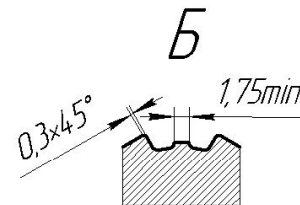
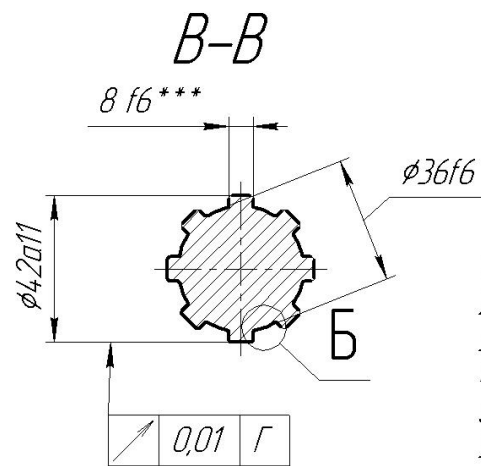
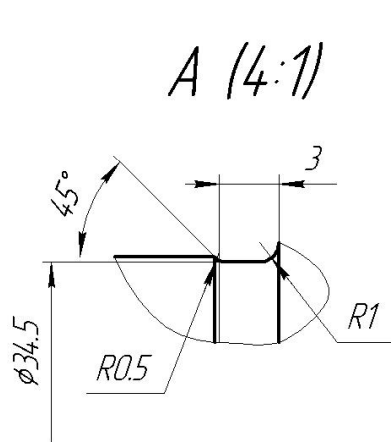
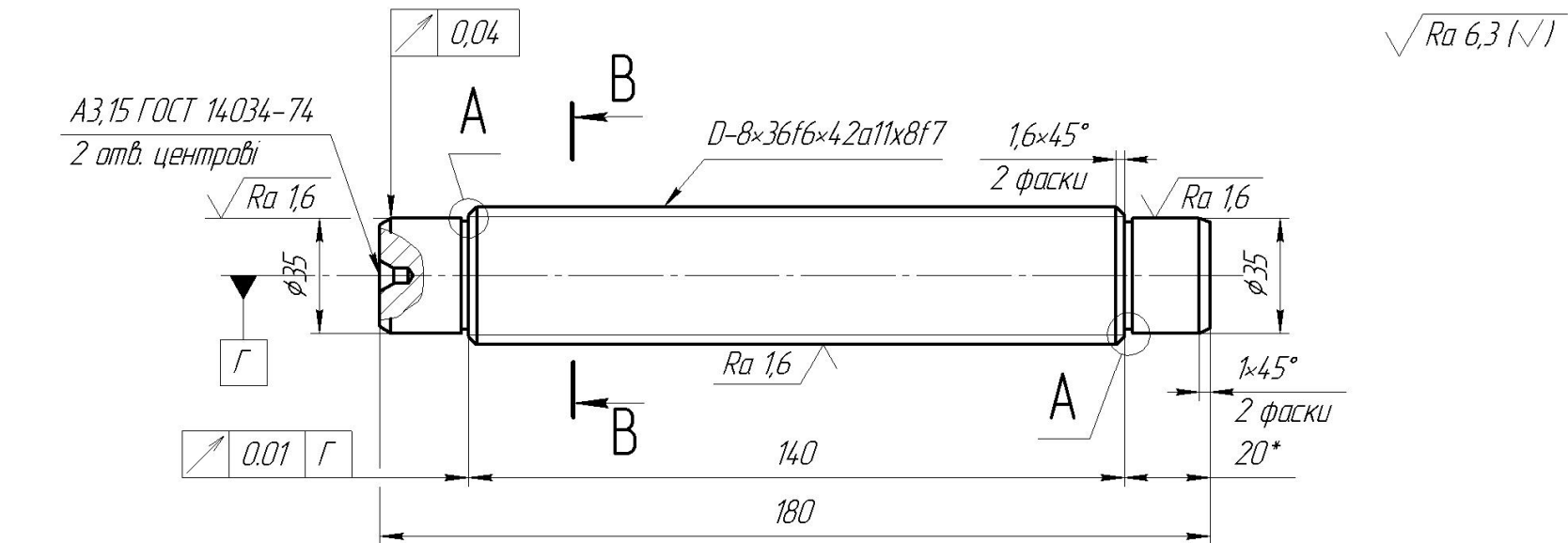


Рис. 13. Ескіз деталі «Вал шліцьовий»



1. HRC 54...58.
2. *Размір для довідок.
3. Невказані радіуси закруглення не більше 0,8 мм.
4. Невказані граничні відхилення розмірів H12; h12; $\pm IT12/2$.

Рис. 14. Ескіз деталі «Вал»



1. Поверхню А цементувати $h0,7 \dots 1,1$ та $56 \dots 63\ HRC$.
2. * Розміри для довідок.
3. ** Розміри забезпечити інструментом.
4. *** Розмір виконувати по деталям, що сполучаються, забезпечивши зазор в шліцьовому з'єднанні до $0,02\ mm$.
5. H14; h14; IT14 / 2.
6. Матеріал-замінник Сталь 18ХГТ, Сталь 20х ГОСТ 4543-71.
7. Клеймити номер.

Рис. 15. Ескіз деталі «Вал шліцьовий»

Варіанти завдань для деталі «Кришка верхня»

Номер варіанту	l_1 , мм	l_2 , мм	l_3 , мм	l_4 , мм	l_5 , мм	l_6 , мм	l_7 , мм	l_8 , мм	Матеріал	Ра, мкм
1	150	75	60	30	45	25	20	120	Сталь 20	0,8
2	151	76	61	31	46	26	21	121	АК6	1,25
3	152	77	62	32	47	27	22	122	Сталь 25	1,6
4	153	78	63	33	48	28	23	123	Сталь 20Х	3,2
5	154	79	64	34	49	29	24	124	Д1	2,5
6	155	80	65	35	50	30	25	125	Сталь 30Х	3,2
7	156	81	66	36	51	31	26	126	Сталь 30	6,3
8	157	82	67	37	52	32	27	127	Сталь 35	12
9	158	83	68	38	53	33	28	128	Л80	1,6
10	159	84	69	39	54	34	29	129	Сталь 40	1,25
11	160	85	70	40	55	35	30	130	АЛ2	3,2
12	161	86	71	41	56	36	31	131	Сталь 40Х	12
13	162	87	72	42	57	37	32	132	Бр. АЖ 9-4	3,2
14	163	88	73	43	58	38	33	133	Сталь 45	6,3
15	164	89	74	44	59	39	34	134	МФ10	2,5

Примітка: при розрахунку проекту технології механічної обробки деталі «Кришка верхня» в програмі Feature CAM, слід обов'язково врахувати вихідні дані марки матеріалу деталі. Програму випуску деталі на рік прийняти рівною $N = 10000$ од./рік. Режими різання повинні бути узгоджені з маркою матеріалу деталі з табличних даними довідників і каталогів згідно ISO.

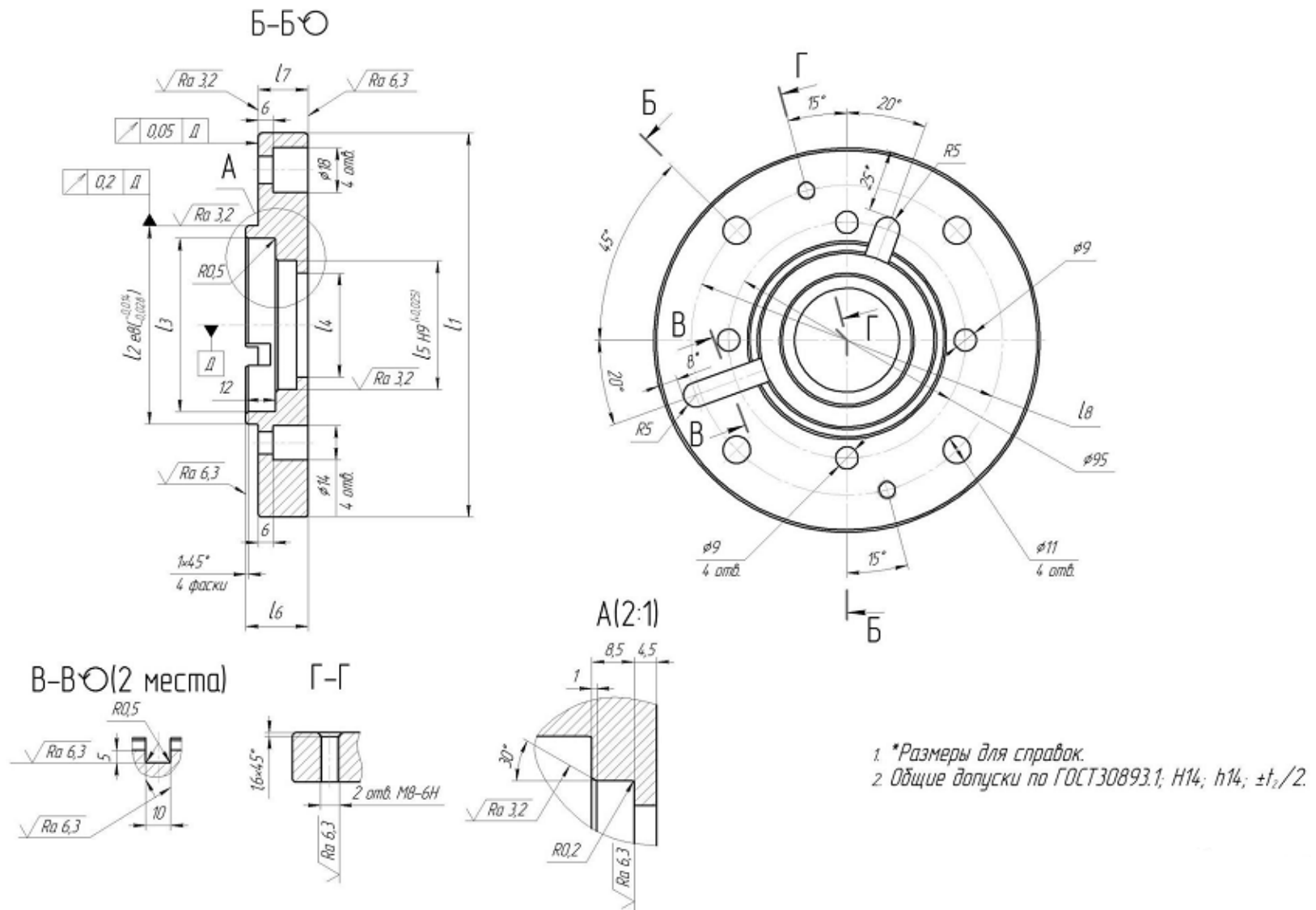


Рис. 16. Ескіз деталі «Кришка верхня»

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до вивчення курсу та виконання індивідуального завдання з дисципліни

«САПР технологічних процесів»

для здобувачів вищої освіти спеціальностей

G9 – Прикладна механіка та

G11 – Машинобудування

Тема: «Автоматизоване проектування тривимірних моделей та програмування токарно-фрезерних операцій на верстатах з ЧПК»

Укладачі:

Шумакова Тетяна Олександрівна

Романченко Олексій Володимирович

Логунов Олександр Миколайович

Ніколаєнко Анна Павлівна

Шевченко Олександр Володимирович

Оригінал-макет

Т.О. Шумакова

Підписано до друку _____

Формат 60x84/16. Папір типограф. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. _____. Облік. видавн. арк. ____

Тираж ___ екз. Вид. №_____. Замовл. №_____. Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету

імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

Адреса видавництва: 01042, м. Київ, вул. Іоанна Павла II, 17

адреса електронної пошти uni@snu.edu.ua,

офіційний web-сайт <https://snu.edu.ua>

E-mail: vidavnictvoSNU.ua@gmail.com