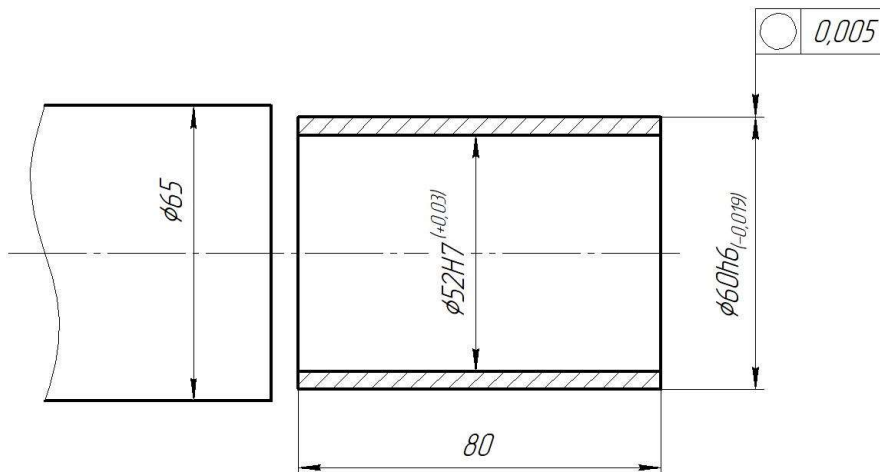


ЄДИНИЙ КОНКУРСНИЙ БІЛЕТ
Всеукраїнська олімпіада «Технологія машинобудування»
(м. Хмельницький, ХНУ, 29.05.2026 р.)
Завдання оцінюється у десять балів

Завдання 8

Необхідно виготовити деталь "Втулка перехідна" (матеріал - сталь **41Cr4**, термооброблення - **HRC 40 ... 45**). Зовнішній діаметр: **60h6** мм. Внутрішній отвір: **52H7** мм. Довжина: **80** мм. Вимога: Допуск циліндричності зовнішньої поверхні – **0,005** мм. Заготовка: Гарячекатаний прокат **d65** мм. Партія: **500** шт.



Завдання для учасника:

- 1) Аналіз жорсткості. Обґрунтуйте, чому ця деталь вважається нежорсткою. Розрахуйте коефіцієнт жорсткості (відношення товщини стінки до діаметра) та спрогнозуйте головну проблему при закріпленні в трикулачковому патроні.
- 2) Проектування маршруту. Складіть оптимальний маршрут оброблення.
- 3) Вибір базування. Запропонуйте схему базування та тип пристосування для остаточного шліфування зовнішнього діаметра, щоб забезпечити співвісність та циліндричність.
- 4) Розрахуйте режими. Розрахуйте аналітично критичну силу затиску, при якій пружна деформація стінки перевищить допуск на розмір
- 5) Бонус. Запропонуйте спосіб контролю циліндричності зовнішньої поверхні без використання КВМ (контрольно-вимірювальної машини).

1. Аналіз жорсткості

Коефіцієнт жорсткості (K): в технології машинобудування жорсткість втулок часто оцінюється відношенням товщини стінки s до зовнішнього діаметру D :

$$s = (60-52)/2 = 4 \text{ мм.}$$

$$K = s / D = 4 / 60 = 0.067 \text{ (або } 1/15\text{).}$$

Обґрунтування нежорсткості: Деталі з $s / D < 0.1$ відносяться до категорії тонкостінних (нежорстких). При довжині $L = 80$ мм ($L / D = 1.33$) деталь схильна до деформацій як у поперечному, так і в поздовжньому перерізі.

Головна проблема полягає в тому, що при затиску у звичайному трикулачковому патроні виникають зосереджені сили у трьох точках. Це призводить до деформації («огранювання»), через що після оброблення та зняття навантаження отвір набуває форми «трикутника», що унеможливило виконання допуску циліндричності 0,005 мм.

2. Проектування маршруту.

Оптимальна послідовність для забезпечення точності розмірів та твердості HRC 40...45:

- Чорнова токарна - обдирання з припуском 2–3 мм на сторону.
- Покращення (загартування + високий відпуск) - для зняття напруги та отримання однорідної структури (опціонально).
- Напівчистова токарна - розточування отвору під шліфування, чистове підрізування торців (отримання чистової бази).
- Фінішна термооброблення (гартування + низький відпуск) - доведення до HRC 40...45.
- Внутрішнє шліфування - оброблення отвору "на прохід".
- Чистове шліфування зовнішнього діаметра - від бази готового отвору.

3. Вибір базування та пристосування.

Для забезпечення циліндричності 0,005 мм та співвісності пропонується фінішне шліфування зовнішньої поверхні на жорсткій консольній оправці з малим конусом (0,01-0,02 мм на 100 мм) або гідропластовій оправці.

Така оправка виключає деформацію стінки, яку викликав би цанговий затискач. Оброблення в центрах (установка оправки в центри) забезпечує найкращу співвісність зовнішньої та внутрішньої поверхонь.

4. Розрахунок режимів (критична сила затиску)

Спрощена формула для радіальної деформації Δ тонкостінного кільця при затиску в 3-х кулачках:

$$\Delta = 0,001 \cdot P \cdot R^3 / E \cdot I,$$

Де:

P - сила затиску на один кулачок;

R - середній радіус втулки (28 мм);

E - модуль пружності сталі ($2.1 \cdot 10^5$ МПа);

I = $b \cdot s^3 / 12$ - момент інерції перерізу (де b - ширина кулачка).

Сумарна деформація Δ не повинна перевищувати допуск на діаметр (для 52H7 це 0,030 мм).

5. Для контролю такої жорсткої норми циліндричності (5 мкм) без координатно-вимірювальної машини можна запропонувати такі варіанти:

а) метод вимірювання в перерізах - використання пасиметра (важільної скоби) або високоточного індикатора з ціною поділу 0,001 мм на стійці. Вимірювання діаметра втулки в декількох поперечних перерізах (по краях і в

середині) та в різних напрямках у кожному перерізі. Різниця між найбільшим та найменшим результатом визначає відхилення від циліндричності.

б) метод контролю «на фарбу» або калібром - для масового виробництва використання прохідного комплексного калібру-кільця. Однак для допуску 0,005 мм виготовлення такого калібру є також нетривіальною задачею.

в) застосування кругломіра. Якщо КВМ недоступна, використовується спеціалізований прилад кругломір. Деталь обертається прецизійному шпинделі, а датчик фіксує відхилення профілю.

Учасник повинен розуміти, що «зловити» 5 мікрон звичайним мікрометром неможливо (похибка пристрою порівняна з допуском). Єдиний достовірний спосіб контролю без КВМ - це диференціальний вимір за допомогою головок типу мікатор, встановлених на твердій стійці над плитою.

