

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри

машинобудування, мехатроніки і
робототехніки

канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

30 червня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

Технологія та оснащення для виготовлення деталі втулка

Виконав здобувач вищої освіти

4 курсу групи ПМ(ОТ)-21

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Юрій МАЗУРЕНКО

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент

_____ Олег СІСА

Рецензент:

канд. техн. наук, доцент

_____ Віктор ПУКАЛОВ

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма: Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
31 січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівням вищої освіти
Мазуренку Юрію Юрійовичу

Тема роботи:

Технологія та оснащення для виготовлення деталі втулка

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Олег СІСА

Затверджено наказом ЦНТУ від 31 січня 2025 року № 130-02.

Строк подання роботи до захисту:

30 червня 2025 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: розробка технологічного процесу та штампа для холодного видавлювання деталі втулка.

Завдання: вибрати спосіб отримання вихідної заготовки, вибрати та спроектувати технологічні переходи, розрахувати виконавчі розміри інструменту, розрахувати силовий режим за переходами штампування, розрахувати робочі елементи штампів на міцність, спроектувати штамп для холодного видавлювання деталі втулка, розробити робочі кресленики на деталі штампа.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	21.04.2025 р.	
2	Виконання загальної частини	02.05.2025 р.	
3	Виконання технологічної частини	09.05.2025 р.	
4	Виконання конструкторської частини	16.05.2025 р.	
5	Розробка креслеників	30.05.2025 р.	
6	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	10.06.2025 р.	
7	Перевірка роботи на академічний плагіат	28.06.2025 р.	
8	Рецензування роботи	30.06.2025 р.	
9	Захист кваліфікаційної роботи	30.06.2025 р.	

Дата видачі завдання
03 лютого 2025 р.

Здобувач вищої освіти _____ Юрій МАЗУРЕНКО

Керівник роботи _____ Олег СІСА

АНОТАЦІЯ

Мазуренко Ю. Ю. Технологія та оснащення для виготовлення деталі втулка: кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. О. Ф. Сіса; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. 37 с.

Креслеників – разом 3 аркуші формату А1.

Метою роботи є розробка технологічного процесу та штампа для холодного видавлювання деталі втулка.

Актуальність роботи полягає в підвищенні продуктивності та зменшенні собівартості виготовлення деталі за рахунок використання прогресивної маловідхідної технології холодного видавлювання.

В роботі виконано аналіз деталі та вибрано спосіб отримання вихідної заготовки; вибрані та спроектовані технологічні переходи; розраховані виконавчі розміри інструменту; розраховано силовий режим за переходами штампування; розраховані робочі елементи штампів на міцність; спроектовано штамп для холодного видавлювання деталі втулка, розроблено робочі кресленики на деталі штампа.

технологічний процес, холодне видавлювання, силовий режим, штамп

ANNOTATION

Yuriy MAZURENKO. Technology and equipment for manufacturing bushing parts: qualifying bachelor's thesis: spec. 131 Applied mechanics / scientific director O. F. Sisa; Central Ukrainian National Technical University - Kropyvnytskyi: CUNTU, 2025. 37 p.

Drawings – a total of 3 sheets of A1 format.

The purpose of the work is to develop a technological process and a die for cold extrusion of the bushing part.

The relevance of the work is to increase productivity and reduce the cost of manufacturing the part by using progressive low-waste cold extrusion technology.

The work includes an analysis of the part and a method for obtaining the initial workpiece; selected and designed technological transitions; calculated the working dimensions of the tool; calculated the power mode for stamping transitions; calculated the working elements of the dies for strength; designed a die for cold extrusion of the bushing part, developed working drawings for the die parts.

technological process, cold extrusion, power mode, die

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи н тему:

Технологія та оснащення для виготовлення деталі втулка

КРБ.ПМ.25.12.12.00.00

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ(ОТ)-21
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Юрій МАЗУРЕНКО

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент
_____ Олег СІСА

Кропивницький 2025

ЗМІСТ

Перелік позначень і скорочень	7
Вступ	8
1 Вибір способу отримання вихідної заготовки	9
2 Вибір та проектування технологічних переходів	13
3 Розрахунок виконавчих розмірів інструмента	17
4 Розрахунок силового режиму	18
4.1 Розрахунок зусилля відрізування	18
4.2 Розрахунок зусилля осаджування	18
4.3 Розрахунок зусилля зворотного видавлювання	19
5 Розрахунок робочих деталей штампів на міцність	23
5.1 Розрахунок пуансона	23
5.2 Розрахунок матриці	26
5.3 Розрахунок та конструювання пуансонотримача та опори	28
5.4 Розрахунок виштовхувача	30
Висновки	33
Список використаних джерел	34
Додатки	35
Додаток А Специфікація «Штамп для видавлювання»	36
А.1 Перший аркуш специфікації на складальний кресленик	36
А.2 Другий аркуш специфікації на складальний кресленик	37

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

- E – логарифмічний ступінь деформації;
 e – відносний ступінь деформації;
 σ_s – істинний опір матеріалу, МПа;
 P – зусилля деформації, Н;
 F – площа поперечного перерізу інструменту, мм²;
 p – тиск на інструмент, МПа;
 h – значення висоти вогнища деформації, мм;
 μ – коефіцієнт тертя;
 T – зусилля тертя, Н;
 β – коефіцієнт впливу способу механічної обробки.

ВСТУП

Підвищення точності та якості продукції – одна із головних задач сучасного машинобудування та металообробки. Найбільш повно ця задача реалізується при використанні таких матеріало- та енергозаощаджувальних технологій, як холодна пластична деформація. До прогресивних технологічних процесів, заснованих на холодній пластичній деформації, відносяться процеси холодного об'ємного штампування.

В ході холодного об'ємного штампування досягається деформаційне зміцнення, відсутні надрізи, існує чітка направленість волокон деформованого металу вздовж конфігурації штампованої заготовки. Крім того, внаслідок проведення холодного об'ємного штампування і, зокрема, холодного видавлювання, поліпшується мікрогеометрія, збільшується коефіцієнт використання металу. Відповідно, значно зменшуються трудомісткість та верстатомісткість продукції. Процеси холодного видавлювання характеризуються високим рівнем автоматизації та механізації, значно випереджаючи у цьому компоненті технології різання та гарячого штампування.

Застосування автоматизованих комплексів для холодного видавлювання на базі кривошипно-колінчастих пресів забезпечує підвищення продуктивності обробки у 2 – 5 разів. В умовах багатосерійного та масового виробництва ця обставина є вирішальною для перевodu виготовлення деяких виробів, зокрема тіл обертання, з технології виготовлення різанням на технологію виготовлення холодним видавлюванням.

1 ВИБІР СПОСОБУ ОТРИМАННЯ ВИХІДНОЇ ЗАГОТОВКИ

Технологія холодного штампування деталі «Втулка» (рис. 1.1) починається з отримання вихідної заготовки для її виготовлення.

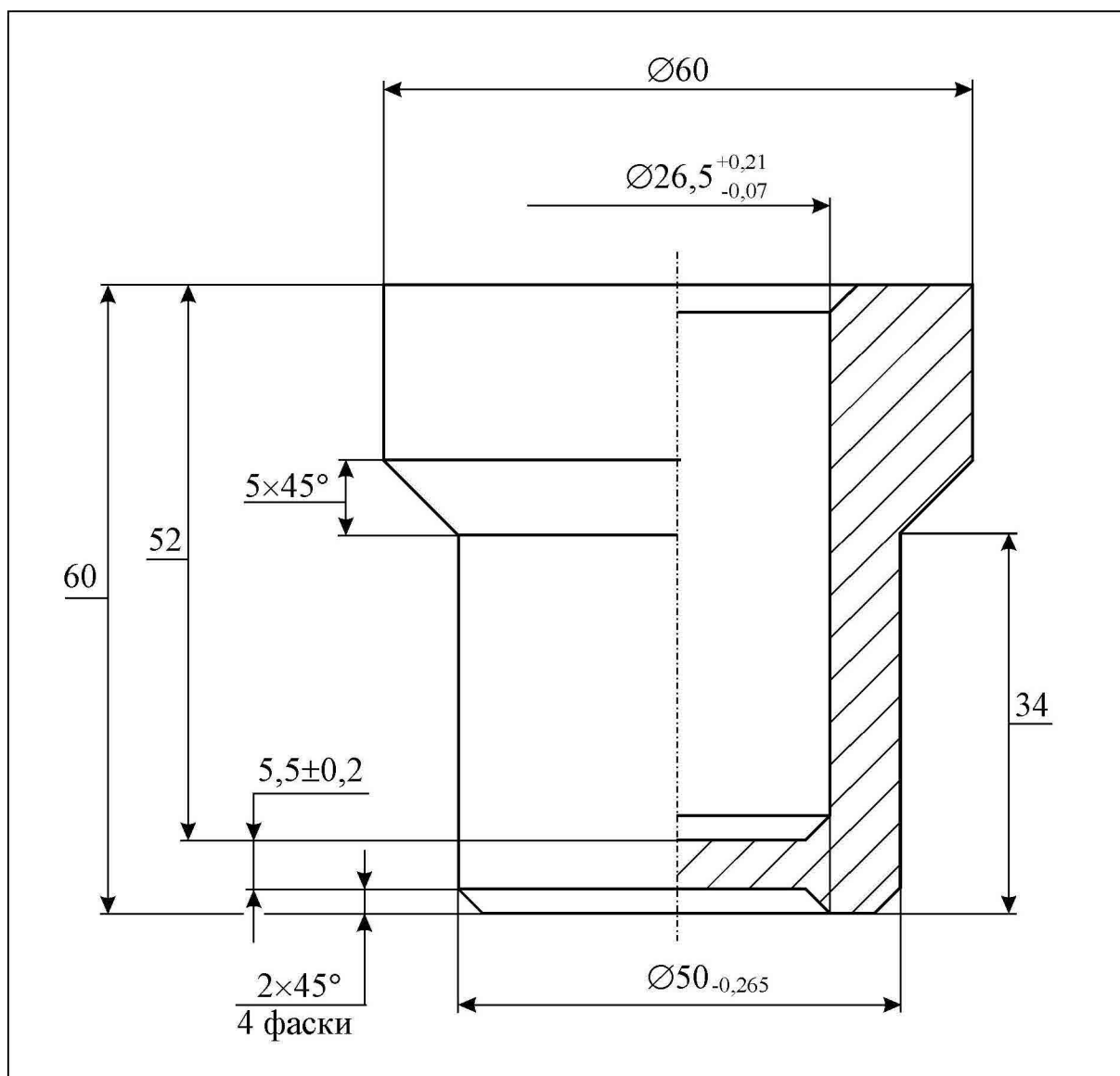


Рисунок 1.1 – Кресленник деталі «Втулка» після холодного штампування перед подальшою механічною обробкою

З урахуванням розмірів деталі, що виготовляється, найбільш простим та прийнятним способом отримання вихідної заготовки циліндричної форми було б вирубування із товстого листа або штаби у вирубному штампі [1, с. 37-92]. Однак у зв'язку з низьким коефіцієнтом використання матеріалу, що не перевищує 70 %, вирубування круглих товстих заготовок економічно не

вигідно. Вирубвання ж квадратних заготовок призводить до необхідності подальшого переформування вихідної заготовки в заготовку круглого перерізу, на що витрачається не мала енергія.

Отримання вихідної заготовки з круглого прокату ускладнюється у зв'язку з малою величиною співвідношення a :

$$a = \frac{h}{d_3}, \quad (1.1)$$

де h – довжина (висота) заготовки;

d_3 – діаметр заготовки.

Для відрізування заготовок від круглого прокату необхідно, щоб співвідношення $a \geq 1,40$.

Діаметр вихідної заготовки визначаємо за формулою [2, с. 74]:

$$d_3 = (0,92 - 0,95) \cdot d_0 = 0,93 \cdot 50 = 48 \text{ мм},$$

де d_0 – діаметр деталі.

Номінальна величина об'єму металу V , потрібного для виготовлення деталі «Втулка» (див. рис. 1.1) визначається з урахуванням технологічних відходів [3, с. 101]:

$$V = V_{к1} + V_{к2} + V_{у1} + V_{у2} - V_{у. отв.} - V_{к. отв.}, \quad (1,2)$$

де $V_{к1}$ – об'єм фаски конусної форми;

$V_{к2}$ – об'єм переходу від більшого діаметру циліндра до меншого;

$V_{у1}$ – об'єм більшої головки втулки;

$V_{у2}$ – об'єм меншої головки втулки;

$V_{у. отв.}$ – об'єм циліндричного отвору у втулці;

$V_{к. отв.}$ – об'єм конусного переходу в отворі втулки.

Тоді:

$$V_{к1} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R_1^2 + R_1 \cdot R_2 + R_2^2) = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 2,5 \cdot (25^2 + 25 \cdot 22,5 + 22,5^2) = 4431,98 \text{ мм}^3,$$

де h – висота зрізаного конуса;

R_1 – діаметр більшої основи конуса;

R_2 – діаметр меншої основи конуса;

$$V_{к2} = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 6 \cdot (30^2 + 30 \cdot 25 + 25^2) = 14287 \text{ мм}^3;$$

$$V_{ц1} = \pi \cdot R^2 \cdot h = 3,14 \cdot 25^2 \cdot 31,5 = 61818,75 \text{ мм}^3;$$

$$V_{к1} = 3,14 \cdot 30^2 \cdot 20 = 56520 \text{ мм}^3;$$

$$V_{ц. отв.} = 3,14 \cdot 58^2 \cdot 13 = 30778,28 \text{ мм}^3;$$

$$V_{к. отв.} = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot (15^2 + 15 \cdot 13 + 13^2) = 1232,97 \text{ мм}^3.$$

Звідси визначаємо об'єм металу:

$$V = 4431,98 + 14287 + 61818,75 - 30778,28 - 1232,97 = 105046,48 \text{ мм}^3.$$

Після розрахунку номінального об'єму металу визначаємо об'єм деталі за формулою:

$$V_{\partial} = V + V_{\text{відх.}} \quad (1,3)$$

де $V_{\text{вих.}}$ – об'єм металу у відході:

$$V_{\text{вих.}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h_{\text{ед}} = \frac{3,14 \cdot 26^2}{4} \cdot 5,5 = 2918,6 \text{ мм}^3,$$

де $h_{\text{ед}}$ – вогнище деформації, яке визначається за програмою [4, с. 44].

Приймаємо в якості вихідного матеріалу круглу калібровану сталь діаметром 48 мм [3, с. 80].

Номінальну довжину вихідної заготовки визначаємо за формулою:

$$h_3 = \frac{4 \cdot V_3}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 107965,11}{3,14 \cdot 48^2} = 57 \text{ мм.}$$

2 ВИБІР ТА ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЕРЕХОДІВ

Згідно із конструктивно-технологічною класифікацією штампованих деталей [3, с. 105], деталь «Втулка», що є об'єктом штампування, відноситься до другого класу. Це деталі, при штампуванні яких переважає процес зворотного видавлювання.

Вважаючи, що деталь має просту форму і співвідношення її розмірів відповідає вимогам деформування за величиною деформації, робимо висновок, що деталь можливо отримати за два переходи.

Таким чином, попередньо приймаємо, що процес штампування деталі «Втулка» буде складатись із таких переходів:

- **Перший перехід.** Осаджування з калібруванням (намітка отворів);
- **Другий перехід.** Зворотне видавлюванням із залишенням перетинки, що вилучається при подальшій механічній обробці.

Загальний ступінь деформації за двома переходами (рис. 2.1) визначається за наступною формулою [3, с. 156]:

$$E = E_1 + E_2, \quad (2.1)$$

де E_1 – логарифмічний ступінь деформації за переходами.

У свою чергу:

$$E = \ln \frac{1}{1-e}, \quad (2.2)$$

де e – відносний ступінь деформації.

Вибрані переходи, згідно з класифікацією процесів формозміни [3, с. 85], відносяться до п. 2 (закрите осаджування) і до п. 12 (зворотне видавлювання).

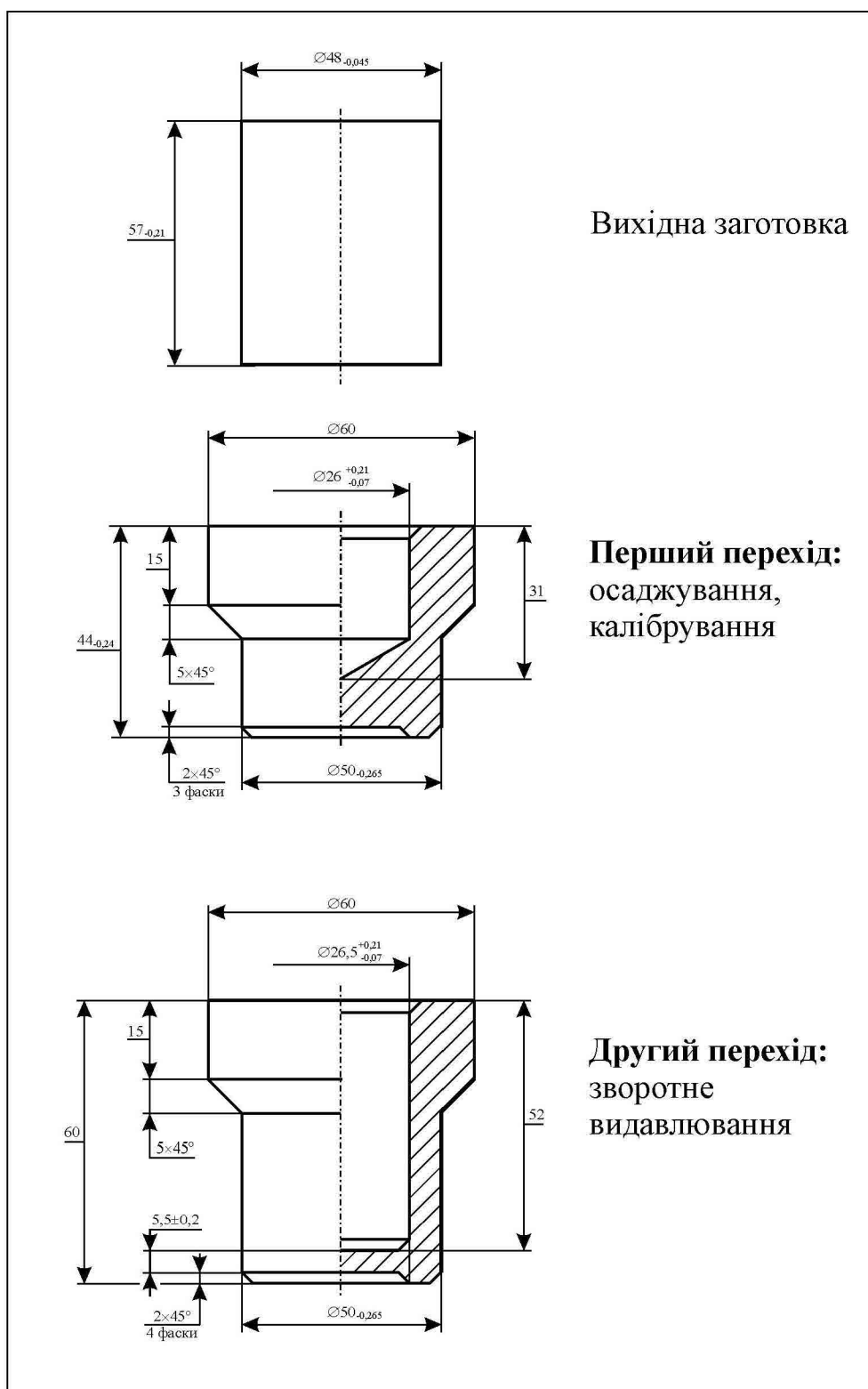


Рисунок 2.1 – Переходи холодного штампування
деталі «Втулка»

Для цих схем деформації:

- при осаджуванні:

$$e = \frac{D^2 - d^2}{d^2} = \frac{60^2 - 48^2}{48^2} = 0,56;$$

$$E = \ln \frac{1}{1 - 0,56} = 0,82.$$

За знайденим значенням ступеня деформації за переходами штампування визначаємо $\sigma_s = 700$ МПа із графіка роботи [3, с. 49];

- радіальна деформація при видавлюванні:

$$e_1 = 1 - \frac{D^2}{d^2} = 1 - \frac{48^2}{60^2} = 0,36;$$

$$E_1 = \ln \frac{1}{1 - 0,36} = 0,446;$$

$$e_2 = \frac{d_1^2}{D^2} = \frac{26^2}{60^2} = 0,188;$$

$$E_2 = \ln \frac{1}{1 - 0,188} = 0,208,$$

де d_1 – діаметр отвору у втулці.

Таким чином, при осаджуванні істинний опір матеріалу пластичному деформуванню становитиме [3, с. 62]:

$$\sigma_s = 800 \text{ МПа.}$$

Визначаємо висотні деформації за двома переходами:

$$E_{h1} = \frac{L_0 - L_1}{L_0} = \frac{57 - 44}{57} = 0,228;$$

$$E_{h2} = \frac{L_2 - L_0}{L_0} = \frac{60 - 44}{44} = 0,36,$$

де: D – початковий діаметр перерізу;

d – кінцевий діаметр перерізу;

L_0 – початкова висота заготовки;

L_1 – висота заготовки після першого переходу;

L_2 – висота заготовки після другого переходу.

Таким чином:

$$E = E_1 + E_2 = 0,82 + 0,36 = 1,18.$$

Вибираємо максимально допустиму величину відносної деформації для сталі 5Гпс, яка складає 85 % [3, с. 100]. Оскільки $E < [E]$, то при штампуванні деталі «Втулка» можна обійтися без додаткової термічної обробки (відпалу).

3 РОЗРАХУНОК ВИКОНАВЧИХ РОЗМІРІВ ІНСТРУМЕНТА

Допуски на розміри заготовки на кожному переході визначаємо складанням допусків на виготовлення інструменту T_e та на його зношування T_z [5, с. 78], тобто:

$$T = T_e + T_z, \quad (3.1)$$

Точність виготовлення інструмента задається та звичайно відповідає шостому (вали) та сьомому (отвори) квалітету.

Приймаємо:

- виконавчий розмір пуансона для зворотного видавлювання [6, с. 291]:

$$d_1 = 26,21h6 = 26,21_{-0,013} \text{ мм};$$

- виконавчий розмір пуансона для осаджування

$$d_2 = 26,21h6 = 26,21_{-0,013} \text{ мм};$$

- виконавчий розмір отвору матриці для зворотного видавлювання:

$$D = 60H7 = 60^{+0,030} \text{ мм};$$

- виконавчий розмір отвору в матриці під виштовхувач

$$D_e = 30H7 = 30^{+0,021} \text{ мм}.$$

Розрахунок виконавчих розмірів для інструмента інших переходів не передбачено.

4 РОЗРАХУНОК СИЛОВОГО РЕЖИМУ

4.1 Розрахунок зусилля відрізування

Зусилля, що необхідне для відрізування вихідної заготовки від прокату, визначаємо за формулою [7, 284]:

$$P_e = \kappa \cdot \sigma_3 \cdot F_3, \quad (3.2)$$

де: κ – коефіцієнт притуплення ріжучих кромek. Приймаємо $\kappa = 1,3$;

F_3 – площа зрізу

$$F_3 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 48^2}{4} = 1808,6 \text{ мм}^2;$$

σ_3 – напруження зсуву [7, 284]:

$$\sigma_3 = 0,6 \cdot \sigma_e.$$

Оскільки для сталі 10 $\sigma_e = 500$ МПа, то

$$\sigma_3 = 0,6 \cdot 500 = 300 \text{ МПа.}$$

Тоді:

$$P_e = 1,3 \cdot 300 \cdot 1808,6 = 759600 \text{ Н.}$$

4.2 Розрахунок зусилля осаджування

Зусилля, що необхідне для осаджування, визначаємо за формулою:

$$P_o = p \cdot F, \quad (3.3)$$

де: p – величина тиску на інструмент:

$$p = \sigma_s^* \cdot \left(1 + 0,4 \cdot \mu \cdot \frac{F}{H} \right), \quad (3.4)$$

F – площа поперечного перерізу заготовки

$$F = F_s = 1808,6 \text{ мм}^2;$$

σ_s^* – приведенне напруження шлину

$$\sigma_s^* = 1,15 \cdot \sigma_s = 1,15 \cdot 700 = 805 \text{ МПа};$$

μ – коефіцієнт тертя при холодному деформуванню. $\mu = 0,1$ [7, с. 283];

H – висота заготовки. $H = 44 \text{ мм}$.

Тоді, величина тиску на інструмент

$$p = 805 \left(1 + 0,4 \cdot 0,1 \cdot \frac{\sqrt{1808,6}}{44} \right) = 835,1 \text{ МПа},$$

а зусилля осаджування

$$P_o = 835,1 \cdot 1808,6 = 14 = 1510362 \text{ Н}.$$

4.3 Розрахунок зусилля зворотного видавлювання.

Загальне зусилля, що необхідне для зворотного видавлювання, визначаємо за формулою:

$$P = P_{oc.\phi.} + P_{з.в.}, \quad (3,5)$$

де: $P_{oc.\phi.}$ – зусилля, що обхідне для осаджування фланцю;

$$P_{oc.\phi.} = p \cdot F, \quad (3,6)$$

p – значення величини тиску на пуансоні [7, с. 287];

F – площа поперечного перерізу пуансона

$$p = \left[1 + \mu \left(0,5 \cdot \frac{\sqrt{F}}{h} + \frac{f}{F} \right) \right] \cdot \sigma_s^*, \quad (3,7)$$

F – площа поперечного перерізу пуансона

$$F = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (60^2 - 26^2)}{4} = 2295,3 \text{ мм}^2,$$

h – значення висоти вогнища деформації. $h = 17$ мм;

σ_s^* – приведенне напруження плину. $\sigma_s^* = 760$ МПа.

Тоді:

$$p = \left[1 + 0,1 \cdot \left(0,5 \cdot \frac{\sqrt{2295,3}}{17} + \frac{1431,8}{2295,3} \right) \right] \cdot 760 = 1107 \text{ МПа};$$

$$P_{oc.\phi.} = 11,07 \cdot 2295,3 = 2540960 \text{ Н} = 2540,96 \text{ кН};$$

$P_{з.в.}$ - зусилля, що необхідне для зворотного видавлювання

$$P_{з.в.} = p \cdot F, \quad (3,8)$$

де p – тиск на інструмент [3, с. 285]

$$p = \left\{ \frac{\varepsilon_i}{\Psi_i} + 1 + \left[\frac{4 \cdot (h' + b_1) \cdot (D + d)}{d^2} + \frac{d}{3 \cdot h} \right] \cdot \mu \right\} \cdot \sigma_s^*, \quad (3,9)$$

де: $\varepsilon_i = 1,18$;

$\Psi_i = 0,34$;

$$\Psi_i = \frac{f}{F} = \frac{676}{1962,5} = 0,34;$$

F – площа поперечного перерізу матриці

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 50^2}{4} = 1962,5 \text{ мм}^2;$$

f – площа поперечного перерізу пуансона

$$f = 26^2 = 676 \text{ мм}^2;$$

D – робочий діаметр матриці. $D = 50$ мм;

d – робочий діаметр пуансона

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 676}{3,14}} = 29 \text{ мм};$$

$h' = 10,25$ мм [4, с. 44].

Тоді, максимальна величина тиску на пуансон

$$p = \left\{ \frac{1,18}{0,34} + 1 + \left[\frac{4 \cdot (10,25 + 3) \cdot (50 + 29)}{29^2} + \frac{29}{3 \cdot 10,25} \right] \cdot 0,1 \right\} \cdot 760 = 3846,01 \text{ МПа},$$

зусилля зворотного видавлювання

$$P_{з.в.} = 3846,01 \cdot 1962,5 = 2599904 \text{ Н} = 2599,904 \text{ кН},$$

а сумарне зусилля штампування

$$P = 2540,96 + 2599,904 = 5142 \text{ кН} = 5,14 \text{ МН}.$$

5 РОЗРАХУНОК РОБОЧИХ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПІВ НА МІЦНІСТЬ

5.1 Розрахунок пуансона.

Вихідні дані для розрахунку пуансона за першою кафедральною програмою. Визначаються зусилля тертя на торці пуансона T_m , на пояску, що калібрує T_k та значення плеча моменту, що вигинає на пуансоні E :

- радіус пуансона $R_n = 13$ мм;
- напруження плину матеріалу деталі $\sigma_s = 760$ МПа;
- значення похибки центрування інструмента $\delta = 0,1$ мм;
- радіус отвору матриці $R_m = 30$ мм;
- довжина пояска, що калібрує $l_k = 3,8$ мм;
- питомий тиск штампування $p = 3841$ МПа;
- зусилля штампування $P = 5140864$ Н;
- коефіцієнт тертя $\mu = 0,1$.

Результати розрахунку:

- плече моменту, що вигинає, на пуансоні $E = -5,91$ мм;
- зусилля тертя на пояску, що калібрує $T_k = 1,00689$ Н;
- зусилля тертя на торці пуансона $T_m = 8080,2106$ Н.

Вихідні дані для розрахунку пуансона за другою кафедральною програмою:

- робоча довжина пуансона $l_p = 26$ мм;
- довжина пояска, що калібрує $l_k = 3,8/2 = 1,9$ мм;
- зусилля тертя на пояску, що калібрує $T_k = 1,00689$ Н;
- зусилля тертя на торці пуансона $T_m = 8080,2106$ Н;
- зусилля штампування $P = 5140864$ Н;
- плече моменту, що вигинає, на пуансоні $E = -5,91$ мм;

- радіус пуансона $R_n = 13$ мм;
- радіус отвору матриці $R_m = 30$ мм;
- обтискування пуансона матеріалом виробу $\Delta r = 0,08$ мм;
- напруження плинину матеріалу деталі $\sigma_s = 1520$ МПа;
- коефіцієнт концентрації напружень $\alpha = 1,2$;
- коефіцієнт впливу способу механічної обробки $\beta = 0,98$;
- межа міцності матеріалу пуансона при циклічному навантаженні $\sigma_{-1} = 3000$ МПа (для сталі Р6М5).

Результати розрахунку:

- запас міцності пуансона у відносних одиницях $\Delta n = 0,464$;
- фізичний запас міцності пуансона $n = 1,66$;
- зусилля вилучення пуансона із виробу $P_e = 12610,2$ Н;
- напруження вигину $\sigma_{виг} = 2978$ МПа;
- напруження стискання $\sigma_c = 8,99$ МПа;
- напруження розтягу $\sigma_p = 33$ МПа;
- амплітудне напруження за цикл $\sigma_a = 1473,5$ МПа.

На основі параметричної оптимізації для різних умов видавлювання вибрані основні типи пуансонів оптимальної конструкції та умови їх використання. За розрахованим значенням зусилля вибираємо пуансон III типу для зворотного видавлювання в особливо важких умовах, при питомих зусиллях видавлювання $p > 2,2$ ГПа. Пуансон має вигляд, представлений на рис. 5.1.

Всі необхідні геометричні параметри пуансона для зворотного видавлювання розраховуємо або приймаємо такими:

$$D_p = 26 \text{ мм з допуском по } h6;$$

$$D_2 = D_p - 2z = 26 - 2 \cdot 0,4 = 25,2 \text{ мм з допуском по } h8;$$

$$z = 0,1 \dots 0,5 \text{ мм};$$

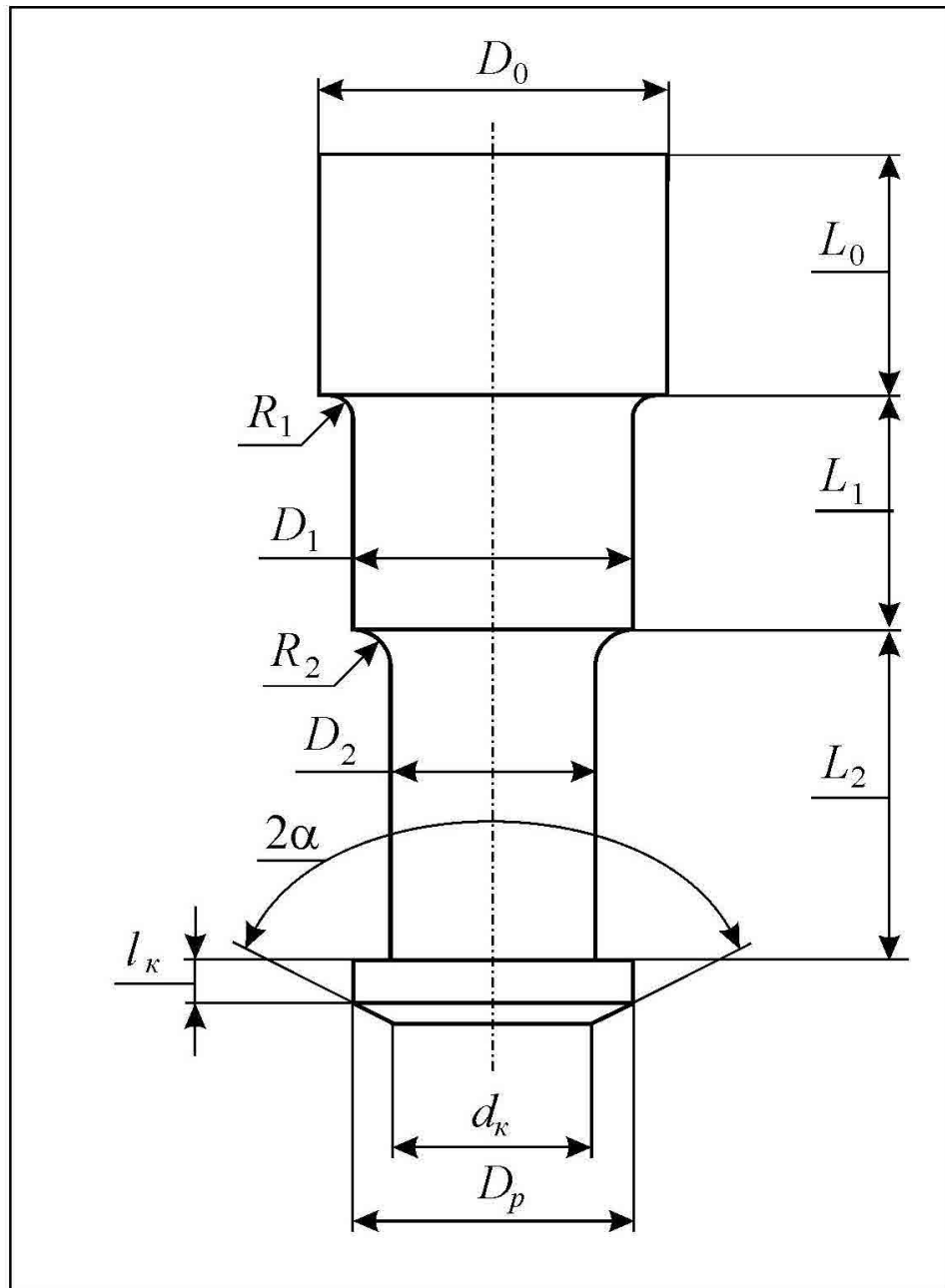


Рисунок 5.1 – Типовий пуансон для зворотного видавлювання деталі «Втулка»

$$D_1 = (1,02 \dots 1,05) \cdot D_2 = 1,04 \cdot 25,2 = 26,21 \text{ мм з допуском по } m6;$$

$$D_0 = (1,1 \dots 1,25) \cdot D_2 = 1,2 \cdot 25,2 = 30,24 \text{ мм з допуском по } h6;$$

$$R_2 = R_1 = (0,3 \dots 0,4) \cdot D_2 = 0,4 \cdot 25,2 = 10 \text{ мм з допуском по } h8;$$

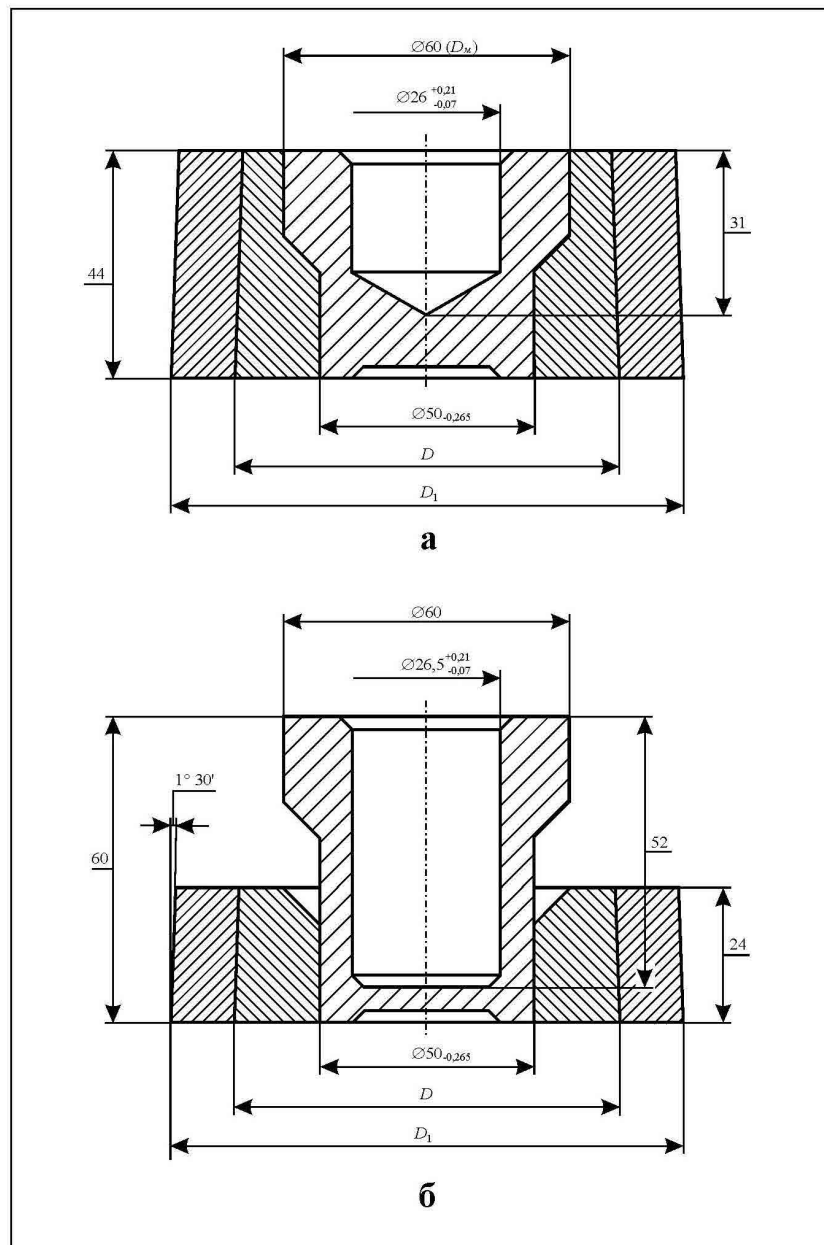
$$L_1 = (1,0 \dots 1,25) \cdot D_1 = 1,10 \cdot 26,21 = 28,8 \text{ мм};$$

$$L_0 = (1,0 \dots 1,25) \cdot D_0 = 1,10 \cdot 30,24 = 33,26 \text{ мм з допуском по } h8;$$

$$l_k = 3,8 \text{ мм з урахуванням матеріалу пуансона (сталь Р6М5)}.$$

5.2 Розрахунок матриці

Із розрахованих значень зусилля на першому (осаджування та калібрування) та другому (зворотне видавлювання) переходах, робимо висновок, що треба виготовляти обидві матриці з одним бандажем. Бандаж [8, 9] використовуємо для того, щоб під час штампування матриці витримували потрібне зусилля (рис. 5.2).



а – для первого переходу; б – для второго переходу

Рисунок 5.2 – Однобандажні складені матриці

Діаметри складених матриць визначаємо із співвідношень:

$$D = 1,6 \cdot D_m = 1,6 \cdot 60 = 96 \text{ мм};$$

$$D_1 = 2,56 \cdot D_m = 2,56 \cdot 60 = 154 \text{ мм}.$$

Визначаємо величину натягу твёрдосплавної вставки в корпусі матриці [10] для зворотного видавлювання деталі «Втулка». Діаметр головки – 60 мм. Зусилля зворотного видавлювання – 259,9 т. Межа плинності сталі – $\sigma_s = 76 \text{ кг/мм}^2$. Розміри складеної матриці: $r = 77 \text{ мм}$; $r_1 = 48 \text{ мм}$; $r_2 = 123 \text{ мм}$.

Розраховуємо максимальний внутрішній тиск на стінці матриці за формулою:

$$\sigma_n = g - \sigma_s = \frac{P}{0,785 \cdot D^2} - \sigma_s = \frac{25990}{0,785 \cdot 60^2} - 76 = 16 \text{ кг/мм}^2;$$

$$K_1 = \frac{r_1}{r} = \frac{48}{77} = 0,62;$$

$$K_2 = \frac{r}{r_2} = \frac{77}{123} = 0,63,$$

де K_1 – відношення внутрішнього радіуса вставки r_1 до радіуса посадкової поверхні r ;

K_2 – відношення радіуса посадкової поверхні r до зовнішнього радіуса циліндра r_2 .

Визначаємо контактний тиск на посадковій поверхні при наявності внутрішнього тиску:

$$P_1 = \sigma_n \cdot \frac{1 - K_2^2}{2 - K_1^2 - K_2^2} = 16 \cdot \frac{1 - 0,63^2}{2 - 0,62^2 - 0,63^2} = 7,9 \text{ кг/мм}^2.$$

Визначаємо радіальне напруження за формулою:

$$\sigma_r = \sigma_n \cdot \frac{K_1^2 \cdot (1 - K_2^2)}{1 - K_1^2 \cdot K_2^2} = 16 \cdot \frac{0,62^2 \cdot (1 - 0,63^2)}{1 - 0,62^2 \cdot 0,63^2} = 4,36 \text{ кг/мм}^2.$$

Контактний тиск після запресування вставки при відсутності внутрішнього тиску:

$$P_0 = P_1 - |\sigma_r| = 7,9 - 4,36 = 3,54 \text{ кг/мм}^2.$$

Величина натягу (мм) для різних матеріалів вставки та корпусу визначається за формулою:

$$\begin{aligned} \delta &= P_0 \cdot d_s \cdot \left[\frac{1}{E_1} \cdot \left(\frac{1 + K_1^2}{1 - K_1^2} - \mu \right) + \frac{1}{E_2} \cdot \left(\frac{1 + K_2^2}{1 - K_2^2} + \mu \right) \right] = \\ &= 3,54 \cdot 96 \cdot \left[\frac{1}{5 \cdot 5 \cdot 10^4} \cdot \left(\frac{1 + 0,3844}{1 - 0,3844} - 0,2 \right) + \frac{1}{2 \cdot 10^4} \cdot \left(\frac{1 + 0,3969}{1 - 0,3969} \right) - 0,28 \right] = 0,046. \end{aligned}$$

Матриця з бандажем для першого переходу запресовується в проміжну плиту. Матриця з бандажем для другого переходу запресовується в кільце, яке закріплюється в штампі за допомогою 8 гвинтів М8×40. Кільце виготовляється із сталі 35.

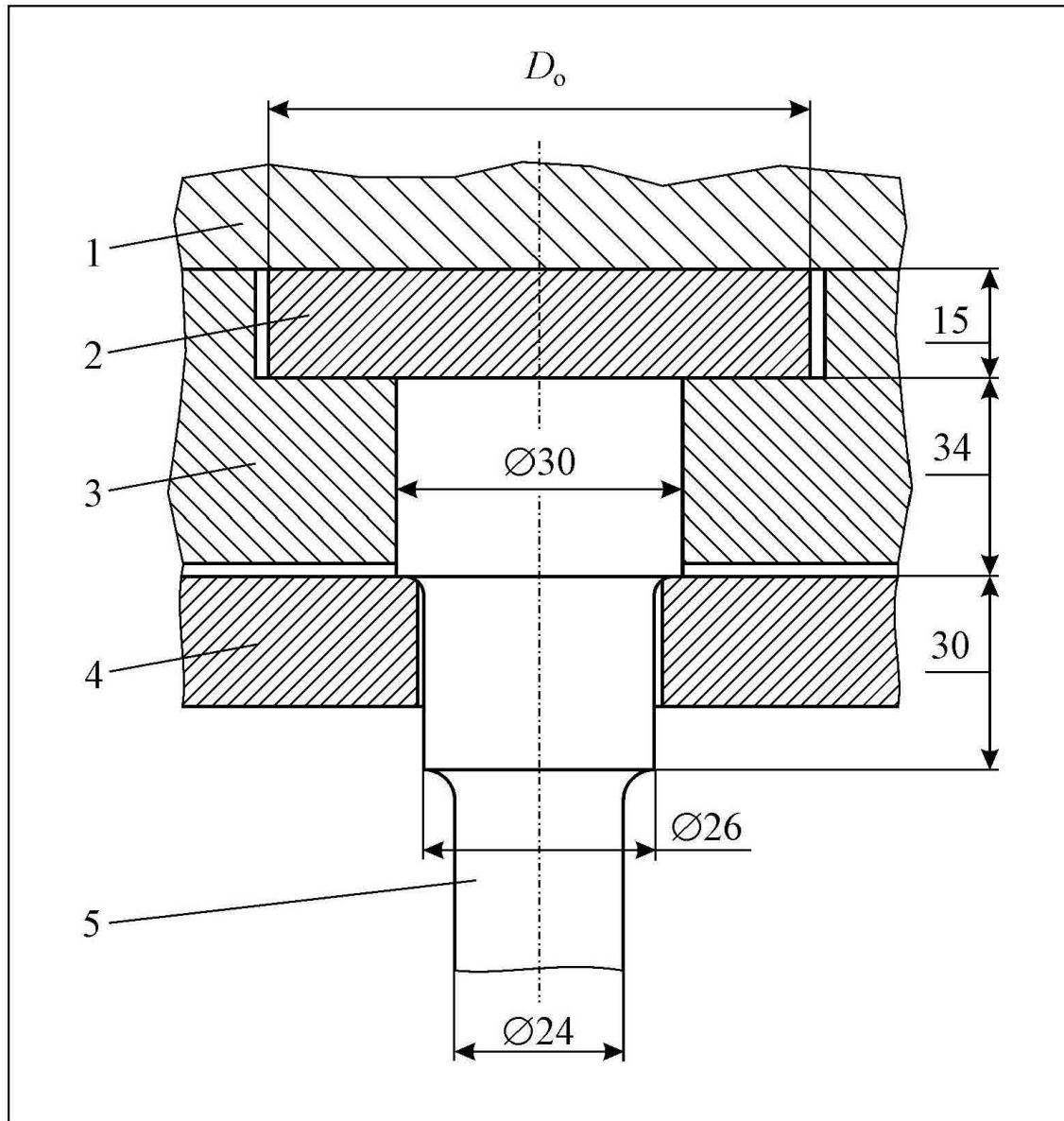
5.3 Розрахунок та конструювання пуансонотримача та опори.

До конструкції пуансонотримача штампа для зворотного видавлювання пред'являються три основні вимоги. Він повинен:

- забезпечувати точне розміщення пуансона в штампі;
- зберігати задане положення в штампі;
- бути швидкозмінним.

Приймаємо пуансонотримач фланцевого типу, який кріпиться до верхньої плити штампа гвинтами з циліндричною головкою.

Опора пуансона для выдавливания выполняется в виде круглого диска, який встановлюється у пуансонотримачі над пуансоном (рис. 5.3). Вона працює на зминання, а тому виготовляється із міцної інструментальної сталі X12M (56... 58 HRC_e)



1 – плита верхня; 2 – опора; 3 – пуансонотримач; 4 – гайка накладна;
5 – пуансон для зворотного видавлювання

Рисунок 5.3 – Конструкція вузла кріплення пуансона у штампі
для зворотного видавлювання деталі «Втулка»

Діаметр опори 2 (D_o) визначають за наступною формулою:

$$D_o = \sqrt{\frac{4 \cdot P \cdot K_n}{\pi \cdot \sigma_{0,2} \cdot a}}, \quad (5.1)$$

де: P – зусилля зворотного видавлювання, що діє на пуансон, кН;

K_n – коефіцієнт нерівномірності розподілу напружень;

$\sigma_{0,2}$ – умовна межа плинності матеріалу плити штампа, ГПа. Для сталі 35 з термообробкою «поліпшення» (160-315 НВ) $\sigma_{0,2} = 0,42 \dots 1,0$ ГПа;

a – коефіцієнт, що враховує схему напружено-деформованого стану.
 $a = 1,7 \dots 1,8$.

Тоді

$$D_o = \sqrt{\frac{4 \cdot 5140 \cdot 1,32}{3,14 \cdot 1 \cdot 1,8}} = 69,3 \text{ мм.}$$

Приймаємо $D_o = 70$ мм.

5.4 Розрахунок виштовхувача

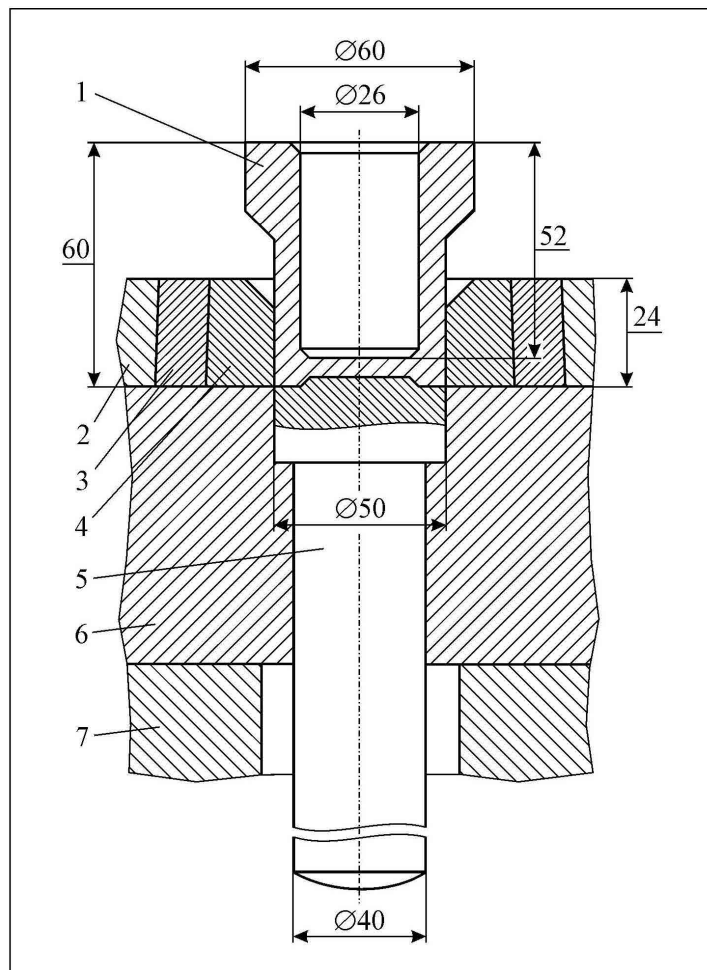
Розрахунок виштовхувача штампа для зворотного видавлювання здійснювали за допомогою кафедральної комп'ютерної програми.

Вихідні дані для розрахунку:

- робоча довжина виштовхувача $l_p = 111$ мм;
- ширина пояса, що калібрує $l_k = 12,5$ мм;
- зусилля тертя на пояску, що калібрує $T_k = 4,6867^{0,2}$ Н;
- зусилля тертя на торці $T_m = 60344$ Н;
- зусилля виштовхування $P_\delta = 717427$ Н;
- плече моменту, що вигинає, на виштовхувачі $E = -5,4^{0,6}$ мм;
- радіус виштовхувача $R_n = 25$ мм;

- радіус матриці $R_m = 48$ мм;
- обтискування виштовхувача матеріалом виробу $\Delta r = 0,08$ мм;
- напруження плинину матеріалу виробу $\sigma_s = 1363$ МПа;
- коефіцієнт концентрації напружень $\alpha = 1,2$;
- коефіцієнт впливу способу механічної обробки $\beta = 0,98$;
- межа міцності матеріалу виштовхувача при циклічному навантаженні $\sigma_{-1} = 3000$ МПа (для сталі Р8М5).

Конструктивне виконання виштовхувача в штампі для зворотного видавлювання деталі «Втулка» показано на рис. 5.4.



- 1 – деталь «Втулка»; 2 – кільце; 3 – бандаж; 4 – матриця;
5 – виштовхувач; 6 – вставка; 7 – плита нижня

Рисунок 5.4 – Конструкція виштовхувача в штампі для зворотного видавлювання деталі «Втулка»

Результати розрахунку:

- запас міцності виштовхувача у відносних одиницях $\Delta n = 3,131$;
- фактичний запас міцності виштовхувача $\Delta = 4,33$;
- зусилля витягування виштовхувача з виробу $P_e = 16713$ Н;
- напруження вигину $\sigma_{виг} = 580,697$ МПа;
- напруження стискання $\sigma_e = 365,4$ МПа;
- напруження розтягу $\sigma_p = 9,05$ МПа;
- амплітудне напруження за цикл $\sigma_a = 468,5$ МПа.

ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз деталі втулка та запропоновано прогресивну маловідхідну технологію її виготовлення способом холодного зворотного видавлювання.
2. Вибрано спосіб отримання вихідної заготовки, спроектовані технологічні переходи та розраховані виконавчі розміри інструменту.
3. Розраховано силовий режим за переходами штампування та робочі елементи штампів на міцність.
4. Спроектовано штамп для холодного зворотного видавлювання деталі «Втулка», розроблено робочі кресленики на деталі штампа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Проектування розділових штампів: навчальний посібник. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2006. 274 с.
2. Ковка и штамповка. Справочник, т. 1 /Материалы и нагрев. Оборудование, ковка. – М.: Машиностроение, 1985. 568 с.
3. Холодная объёмная штамповка. Справочник. – М.: Машиностроение, 1973.
4. Методичні вказівки по курсу «Холодне об'ємне штампування» для студентів спеціальності 8.090206 «Обладнання для обробки металів тиском / укл. Б. Б. Кришкін. – Кіровоград. 84 с.
5. Евстратов В. А. Оптимизация технологических процессов и конструкций штампов для холодного и полу горячего выдавливания. – М.: ВНИИТЭМР, 1989.
6. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя, т. 1. – М.: Машиностроение, 1980. 728 с.
7. Ковка и штамповка. Холодная объёмная штамповка. Справочник, т. 3. – М.: Машиностроение, 1987. 384 с.
8. Кришкін Б. Б. Холодне об'ємне штампування. Навчальний посібник. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 120 с.
9. Auslegung der Werkzeuge und Entwicklung der Formteile für MehrmatrizenKaltumformer. National Machinery Co. Tiffin, Ohio, 1996. – 320 s.
10. Бунатян Г.В., Скуднов В.А., Хыбемяги А.И. Холодное выдавливание деталей формующей технологической оснастки. – М.: Машиностроение, 1998. – 182 с.: ил.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Специфікація «Штамп для видавлювання»

А.1 Перший аркуш специфікації на складальний кресленик

Поз	Позначка	Найменування	Кіл.	Посилання	Матеріал
		<u>Документація</u>			
	КРБ.ПМ.25.12.12.10.00	Складальний кресленик	1		
		<u>Деталі</u>			
1	КРБ.ПМ.25.12.12.10.01	Плита верхня	1		
2	КРБ.ПМ.25.12.12.10.02	Підансонотримач	1		
3	КРБ.ПМ.25.12.12.10.03	Накидна гайка	1		
4	КРБ.ПМ.25.12.12.10.04	Підансон	1		
5	КРБ.ПМ.25.12.12.10.05	Тримач	1		
6	КРБ.ПМ.25.12.12.10.06	Бандаж	1		
7	КРБ.ПМ.25.12.12.10.07	Матриця	1		
8	КРБ.ПМ.25.12.12.10.08	Плита нижня	1		
9	КРБ.ПМ.25.12.12.10.09	Вставка 1	1		
10	КРБ.ПМ.25.12.12.10.10	Вставка 2	1		
11	КРБ.ПМ.25.12.12.10.11	Виштовхувач	1		
12	КРБ.ПМ.25.12.12.10.12	Штовхач	1		
13	КРБ.ПМ.25.12.12.10.13	Тяга	2		
14	КРБ.ПМ.25.12.12.10.14	Планка	1		
15	КРБ.ПМ.25.12.12.10.15	Упор	1		
16	КРБ.ПМ.25.12.12.10.16	Опора	1		
17	КРБ.ПМ.25.20.12.10.17	Плита	1		
18					
		<u>Стандартні одиниці</u>			
19		Гайка М24-7Н6.05			
		DIN 546	4		
20		M16x35-8gx50.56.05			
		DIN 464	16		
Відповідальна організація Кафедра ММР		Технічне узгодження Андрій Гречка	Розробник документа Юрій МАЗУРЕНКО	Документ затверджено Олег СІСА	Листовий 11
Власник документа Центральноукраїнський національний технічний університет		Вид документа Специфікація		Статус документа Навчальний	
		Назва Штамп для видавлювання		Ідентифікаційне значення КРБ.ПМ.25.12.12.10.00	
				Ід. змін А	Дата видання 2025-23-06
				Мова uk	Аркуш 1/2

