

Зміст

Зміст	3
1 Тематика завдань з курсової роботи	4
2 Зміст і обсяг курсової роботи	5
3 Вказівки з моделювання процесів пластичного деформування	6
3.1 Моделювання технологічних задач енергетичним методом	6
3.2 Моделювання напруженого стану методом ліній ковзання	7
3.3 Моделювання силового режиму і розрахунок накопиченого ступеня деформації методом верхньої оцінки	8
3.4 Моделювання силового режиму і формоутворення деталі при видавлюванні з декількома ступенями вільності витікання металу	11
3.5 Моделювання технологічних задач методом розв'язання наближених диференціальних рівнянь рівноваги й умови пластичності	11
Перелік рекомендованої літератури	13
ДОДАТКИ	
Додаток А. Титульний лист	14
Додаток Б. Кінематичні елементи для плоскої та вісесиметричної течії	15
Додаток В. Поля ліній ковзань і годограф швидкостей	16
Додаток Г. Верхня оцінка тисків деформування і розрахунок накопиченого ступеня деформації	17
Додаток Д. Характеристика криві зміцнення	18
Додаток Е. Розрахункова схема і годографи швидкостей для процесу комбінованого видавлювання	19
Додаток Ж. Контури напівфабрикату на послідовних стадіях формоутворення	20
Додаток И. Контрольні питання з дисципліни «Теорія процесів кування і штампування»	21

1 Тематика завдань з курсової роботи

Курсова робота є самостійною теоретичною розробкою студента. Мета роботи - прищепити студентам навички творчої роботи при розв'язанні задач з теоретичного аналізу технологічних процесів і перевірити засвоєння лекційного та практичного матеріалу з спеціальних дисциплін.

Загальною темою курсової роботи є моделювання технологічних процесів кування і штампування. Складовими завдання темами служать вивчення і практичне застосування для аналізу технологічних задач, щонайменше двох методів з числа нижчеперелічених методів теорії пластичного деформування:

- метод ліній ковзання [1,2],
- енергетичний метод [2,3],
- метод верхньої оцінки [2,3],
- метод рішення наближених диференціальних рівноваги [1,3].

При цьому в курсовій роботі, відповідно до завдання керівника, можуть бути вирішені наступні задачі:

- визначення наведених (безрозмірних) тисків деформування;
- визначення тисків і сил деформування з урахуванням зміцнення (знеміцнення) металу, що деформується;
- розрахунок і вивчення характеру розподілу компонентів напружень, у т.ч. і контактних напружень на межі з інструментом;
- розрахунок і оцінка характеру розподілу накопиченої деформації за перетином деформованої заготовки;
- розрахунок величини тепловиділення при пластичній формозміні;
- аналіз характеру впливу технологічних параметрів на силовий (деформаційний) режим процесу обробки тиском;
- оптимізація величин технологічних параметрів аналітичними методами і за допомогою ЕОМ;
- прогнозування формозміни заготовки в процесах з декількома ступенями вільності витікання, у т.ч. і з застосуванням ЕОМ і розрахункових програм кафедри ОМТ;
- добір кінематично можливих полів швидкостей (КМПШ) плин у металу та виведення розрахункових формул для наведених тисків штампування.

В якості технологічних процесів або операцій, для яких вирішуються зазначені задачі, можуть бути задані різні способи кування і переважно точного об'ємного штампування.

Як правило, необхідні постановка і розв'язання трьох теоретичних задач. Бажано, щоб задачі були присвячені аналізу того самого процесу. У той же час об'єктом дослідження можуть бути обрані різні технологічні схеми деформування, такі як відкрите штампування, операції кування, способи видавлювання, а також спосіб комбінованого видавлювання. Підбір задач здійснюється керівником роботи з урахуванням тематики НДРС, суміжних курсових проектів і напряду діяльності творчої лабораторії, до якої закріплений студент.

Вихідними даними для роботи є тип і відносні розміри деталі (деталей), технологічний спосіб (схеми) деформування, характеристики властивостей (криві зміцнення) матеріалу заготовки, показники умов деформування.

2 Зміст та обсяг курсової роботи

Обсяг курсової роботи встановлюється в розмірі 1-2 аркуша (А1) графічного матеріалу і 25-30 сторінок (рукописних) розрахунково-пояснювальної записки з титульним листом (додаток А).

Розрахунково-пояснювальна записка повинна вміщувати приблизно наступні розділи (аркуші):

- 1 Титульний лист.
- 2 Реферат.
- 3 Зміст.
- 4 Вступ.
- 5 Моделювання напруженого стану заготовки.
- 6 Моделювання силового режиму і (або) розрахунок накопиченого ступеня деформації.
- 7 Моделювання формоутворення при штампуванні з декількома ступенями вільності плину.
- 8 Побудова й аналіз кінематично можливих полів швидкостей плину енергетичним методом.
- 9 Висновок (загальні висновки).
- 10 Перелік посилань.
- 11 Додатки.

3 Вказівки з моделювання процесів пластичного деформування

Для побудови моделі тіла, що пластично деформується, й аналізу технологічних режимів процесу деформування необхідно виконати ряд послідовних дій, що включають постановку, обґрунтування методу аналізу, розв'язання технологічної задачі, а також надання й обговорення отриманих результатів.

Нижче наведені послідовні етапи й основні розрахункові залежності для розв'язання технологічних задач різними методами теоретичного аналізу.

3.1 Моделювання технологічних задач енергетичним методом

Аналіз і ухвалення розрахункової схеми технологічного процесу.

Ухвалення спрощених припущень формулювання граничних умов.

Розподіл осердя деформації на елементарні кінематичні елементи (зони).

Побудова кінематично можливого поля швидкостей. Визначення величин розриву швидкостей переміщення (v_r, v_x, v_z і т.д.), а також інтенсивності швидкостей деформації $\dot{\epsilon}_i$ (додаток Б).

Обчислення інтегралів потужностей сил деформування N_d , сил зрізу N_c і сил тертя N_T .

Визначення з рівняння енергетичного балансу наведеного тиску

$$\bar{p} \left(\bar{p} = \frac{P}{\sigma_S} \right).$$

Дослідження рівняння енергетичного балансу на екстремум за змінними параметрами a_i і оцінка формозміни заготовки.

Обговорення й аналіз отриманих результатів.

Розрахункові формули

$$N_a = N_d + N_T + N_c,$$

або

$$pFv_0 = \sum_{h=1}^H \iiint_V \sigma_S \dot{\epsilon}_i dV + \sum_{m=1}^M \iint_{Fk} \tau_k v_k dFk + \sum_{n=1}^N \iint_{Fc} \tau_s [v] dFc;$$

$$\frac{\partial p}{\partial a_i} = 0;$$

$$\dot{\epsilon}_i = \sqrt{\left(\frac{2}{3} \left(\dot{\epsilon}_z^2 + \dot{\epsilon}_r^2 + \dot{\epsilon}_\theta^2 + \frac{1}{2} \gamma_{rz}^2 \right) \right)};$$

$$\dot{\epsilon}_i = 1,08 |\dot{\epsilon}_{\max}|;$$

$$\dot{\varepsilon}_z = \frac{\partial \vartheta_z}{\partial z}, \quad \dot{\varepsilon}_r = \frac{\partial \vartheta_r}{\partial r}, \quad \dot{\varepsilon}_\theta = \frac{\vartheta_r}{r};$$

$$\dot{\varepsilon}_z + \dot{\varepsilon}_r + \dot{\varepsilon}_\theta = 0;$$

$$\begin{aligned} \vartheta_z &= C_1(z + C_2), & \vartheta_r &= -\frac{C_1}{2}\left(r + \frac{C_3}{r}\right); \\ \vartheta_z &= C_1(z + C_2), & \vartheta_x &= -C_1(x + C_3); \end{aligned}$$

$$\vartheta_x = C_1(x + C_2), \quad \vartheta_y = C_3(y + C_4), \quad \vartheta_z = -(C_2 + C_3)z + C_5;$$

$$\tau_k = \frac{2}{\sqrt{3}} \mu_s \sigma_s, \quad \tau_s = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}},$$

де p – питома сила деформування;

F – площа перетину інструмента;

ϑ_0 – швидкість переміщення інструмента;

H – кількість областей, на які розбитий осередок деформації;

M – кількість контактних поверхонь;

N – кількість поверхонь розриву швидкостей (зрізу);

V – об'єм області в осередді деформації;

σ_s – напруження текучості матеріалу, що деформується;

$\dot{\varepsilon}_i$ – інтенсивність швидкостей деформації;

τ_k – контактне дотичне напруження;

τ_s – напруження текучості на зсув.

3.2 Моделювання напруженого стану методом ліній ковзання

Аналіз технологічного процесу, виду деталей, що штампуються.

Обґрунтування методу теоретичного аналізу й розрахункової схеми.

Формулювання граничних умов, умов тертя, взятих припущень.

Побудова поля ліній ковзання і при необхідності - годографа швидкостей (додаток В).

Розрахунок напруженого стану ($\omega, \sigma_z, \sigma_x, \sigma_y, \tau_{xz}$).

Побудова й аналіз епюр напружень ($\sigma_z/2k$). Встановлення середнього значення ($\sigma_z/2k$) у межах характерних пластичних зон (у зоні фаски і стрижня).

Зміна умов контактної тертя і виконання етапів роботи з підрозділів побудови поля і розрахунку напружень.

Порівняння й аналіз напруженого стану.

Розрахункові формули

$$\sigma_x = \sigma_{cp} + k \sin 2\omega, \quad \sigma_z = \sigma_{cp} - k \sin 2\omega;$$

$$\tau_{xz} = -k \cos 2\omega; \quad \sigma_{pM} - \sigma_{cN} = \pm 2k(\omega_M - \omega_N);$$

$$\omega_{(m,n)} = \omega_{(0,0)} + (n-m)\gamma;$$

$$\sigma_{p(m,n)} = \sigma_{c(0,0)} - 2k(n+m)\gamma;$$

$$\sigma_x = \sigma_{c(m,n)} + k \cos 2(n-m)\gamma, \quad \sigma_z = \sigma_{c(m,n)} - k \cos 2(n-m)\gamma;$$

$$\tau_{xz} = k \sin 2(n-m)\gamma;$$

$$\varphi_k = \frac{\text{Arc cos } 2\mu_s}{2};$$

$$P_\partial = \iint_F \sigma_z dF,$$

де σ_z – середнє напруження ($\sigma_z = (\sigma_x + \sigma_z)/2$);

k – стала пластичності;

ω – кут нахилу лінії ковзання α до осі x ;

n, m – порядкові номери вузлових точок;

γ – кут розбиття початкового віяла поля ліній ковзання;

φ_k – кут між контактною поверхнею і лінією ковзання β ;

μ_s – коефіцієнт тертя;

P_∂ – сила деформування.

3.3 Моделювання силового режиму й розрахунок накопиченого ступеня деформації методом верхньої оцінки

Аналіз процесу (способу) штампування і деталі, що штампується.

Обґрунтування методу теоретичного аналізу й розрахункової схеми.

Формулювання припущень, граничних умов, умов тертя.

Побудова розривного поля швидкостей і годографа швидкостей.

Побудова траєкторій переміщення часток металу, що деформується (додаток Д), за окремим «каналом» плинну А,В ,С та інші.

Розрахунок наведеного тиску деформування \bar{p} .

Розрахунок деформацій зрушення γ_{ij} на поверхнях розриву швидкості та накопиченого ступеня деформації за окремими каналами плинну А,В,С і середніх значень γ_3 і e_c на виході з осердя деформації.

Оцінка нерівномірності розподілу підсумкової деформації K_H .

Оптимізація полів швидкостей за \bar{p} і розподілом деформацій.

Зіставлення тисків \bar{p} і \bar{q} із середніми значеннями $(\sigma_z/2k)$ з розділу 3.2.

Розрахунок тисків деформування з урахуванням зміцнення металу (додаток Д).

Обговорення і зіставлення отриманих результатів.

Розрахункові формули

$$\bar{p} = \frac{1}{2B\vartheta_0} \left(\sum_{n=1}^N l_{ij} \vartheta_{ij} + 2\mu_s \sum_{m=1}^M l_{ik} \vartheta_{ik} \right);$$

$$\frac{\partial \bar{p}}{\partial a_i} = 0;$$

$$\gamma_{ij} = \frac{\vartheta_{ij}}{\vartheta_{ij}^n};$$

$$\gamma_c = \frac{\gamma_A l_A + \gamma_B l_B + \dots + \gamma_L l_L}{l_A + l_B + \dots + l_L};$$

$$e_c = \frac{\gamma_c}{\sqrt{3}}, \quad \beta = \frac{e_c}{\bar{p}_{\mu_s=0}}, \quad K_H = \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_{\min}};$$

$$\bar{q} = \bar{p}_2 \cdot \frac{h_2}{h_f} - \frac{2\mu_s}{\sin(2\alpha_k)};$$

$$\sigma_s = f(e_c);$$

$$P = \bar{p} \sigma_s \leq 2200 \text{ МПа};$$

$$T_{ij} = \frac{k}{I \cdot c \cdot \rho} \gamma_{ij},$$

де $\bar{p}(\bar{p} = P/2k)$ – наведений тиск деформування;
 B – ширина деформуючого інструмента;
 v_0 – швидкість деформування;
 l_{ij}, l_{ik} – довжини граничних відрізків між зонами і вздовж контактної поверхні;
 v_{ij}, v_{ik} – швидкості розриву і ковзання на контактній поверхні;
 v_{ij}^n – нормальна складова швидкостей розриву;
 μ_s – коефіцієнт тертя (Зібеля);
 \bar{q} – наведений тиск розкриття роз’ємної матриці;
 p – тиск деформування;
 T_{ij} – величина тепловиділення на поверхні зрізу;
 I – механічний еквівалент тепла ($I = 42,7 \text{ кГсм/кал}$);
 C – питома теплоємність матеріалу (кал/град);
 ρ – густина матеріалу.

3.4 Моделювання силового режиму й формоутворення деталі при видавлюванні з декількома ступенями вільності витікання металу

Аналіз процесу (способу) штампування і деталі, що штампується.

Обґрунтування методу теоретичного аналізу й розрахункової схеми.

Формулювання припущень, граничних умов, умов тертя.

Побудова розривного поля швидкостей і годографа швидкостей (шляхом взяття припущень про відомість однієї з вихідних швидкостей W або V) для однієї з послідовних стадій штампування (додаток Е).

Оптимізація поля швидкостей $\left(\frac{\partial \bar{p}}{\partial W} = 0 \right)$ і пошук величини швидкості W (або V), що надає мінімум наведеному тиску \bar{p} .

Визначення збільшення розмірів деталі за даний етап деформування:

$$\Delta B = W/m, \Delta \Gamma = V/m, m = v_0 / \Delta S.$$

Побудова контурів деталі, що штампується, на послідовних (крок ΔS) етапах деформування.

Аналіз задачі при змінених умовах тертя в тій або іншій вихідній зоні, за допомогою ПЕОМ (програма ОМТ ТК-3 – ТК-8).

Обговорення отриманих результатів.

3.5 Моделювання технологічних задач методом розв'язання наближених диференціальних рівнянь рівноваги й умови пластичності

Аналіз процесу штампування, вихідної заготовки і штампованої поковки.

Обґрунтування методу теоретичного аналізу й узятій розрахунковій схемі процесу.

Формулювання припущень, граничних умов і умов контактного тертя.

Обґрунтування спрощень диференціальних рівнянь рівноваги для розглянутої схеми або етапу процесу деформування.

Прийняття наближеної (спрощеної) умови пластичності.

Інтегрування диференціальних рівнянь рівноваги і встановлення залежностей для розрахунку напружень σ_z, σ_x та інші.

Визначення повних і питомих сил деформування;

Аналіз задачі за зміненими умовами контактної тертя.

Аналіз отриманих результатів.

Розрахункові формули

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} = 0;$$

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0;$$

$$\sigma_r - \sigma_\theta = \pm \sigma_S \quad \text{або} \quad \sigma_r = \sigma_\theta;$$

$$\sigma_z - \sigma_x = 0; \quad \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial r};$$

$$\sigma_z - \sigma_x = \pm \beta \sigma_S;$$

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = \frac{\partial \sigma_z}{\partial x};$$

$$\tau_{xz} = \pm C_2 z \quad \text{або} \quad \tau_{xz} = \pm (C_1 + C_2 z),$$

де $\sigma_r; \sigma_\theta; \sigma_z; \sigma_x; \tau_z$ - компоненти напружень;

σ_S - напруження текучості;

β - коефіцієнт Луде;

$C_1; C_2; C_3$ – сталі коефіцієнти.

Перелік рекомендованої літератури

- 1 Теория обработки металлов давлением /М.В. Сторожев, Е.А. Попов. -М.: Машиностроение, 1977.- 423с.
- 2 Евстратов В.А. Теория обработки металлов давлением. - Харьков: Вища школа, 1986.-248с.
- 3 Алюшин Ю.А. Теория обработки металлов давлением. Метод верхней оценки и его применение при решении задач обработки металлов давлением. - Ростов н/Д: РИСХМ, 1977.- 88с.
- 4 Шестаков Н.А. Энергетические методы расчета процессов обработки металлов давлением: Учебное пособие. - М.:МГИУ, 1998.-125с.
- 5 Теория пластичности для инженеров /У. Джонсон, П. Меллор - М.: Машиностроение, 1979.- 567с.
- 6 Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением /А.В. Третьяков, В.И. Зюзин. – М.: Металлургия, 1983. – 224 с.
- 7 Томленов А.Д. Теория пластических деформаций металлов .- М.: Металлургия, 1972.- 408с.
- Колмогоров В.А. Механика обработки металлов давлением. - М.: Металлургия, 1986.-688 с.

**Додатки
Додаток А
Титульний лист**

**ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА
МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ**

Кафедра «Обробка металів тиском»

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ КУВАННЯ І
ШТАМПУВАННЯ**

ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ КУВАННЯ І ШТАМПУВАННЯ

КУРСОВА РОБОТА

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

***Керівник:
Професор***

_____ ***І.С. Алієв***

***Виконав:
Студент гр. ОМТ 03 –1***

Оцінка_____

Експертна комісія _____

Краматорськ – 2006

Додаток Б **Кінематичні елементи для плоскої та вісесиметричної течії**

Номер елемента	А	Б
1		
2		
3		
4		
5		

Додаток В

Поля ліній ковзання й годографи швидкостей

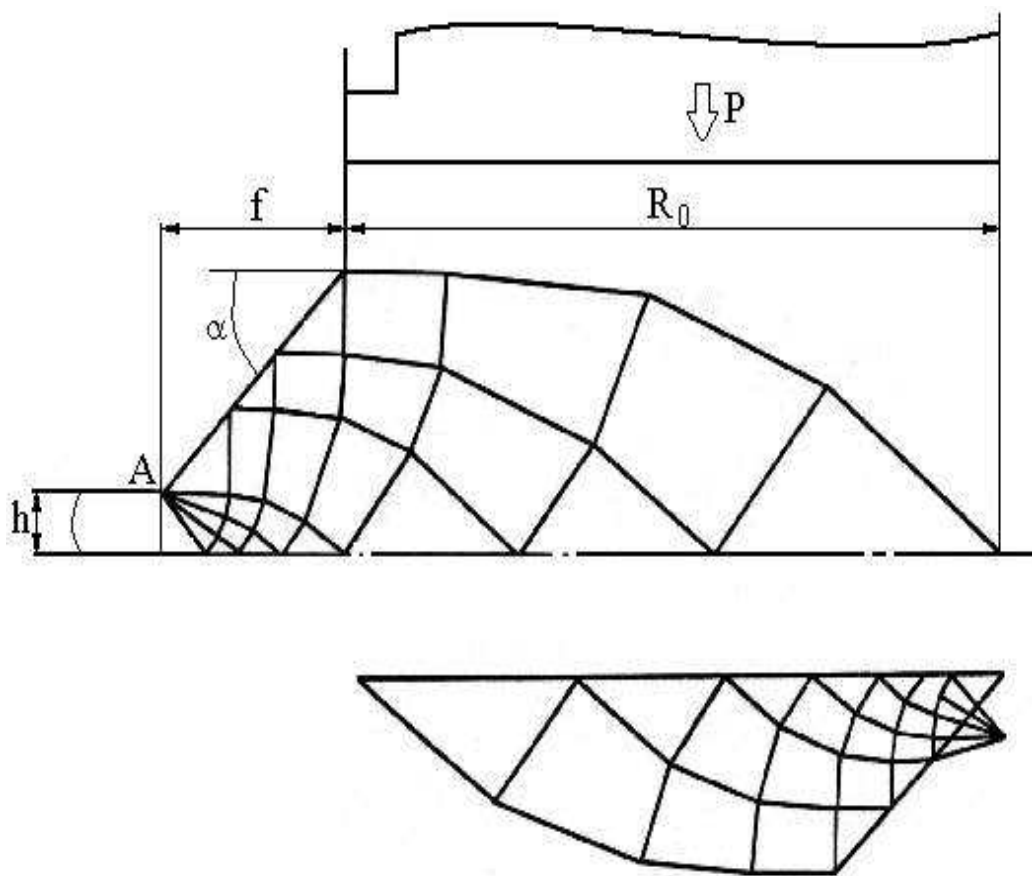


Рисунок В.1 – Годограф швидкостей

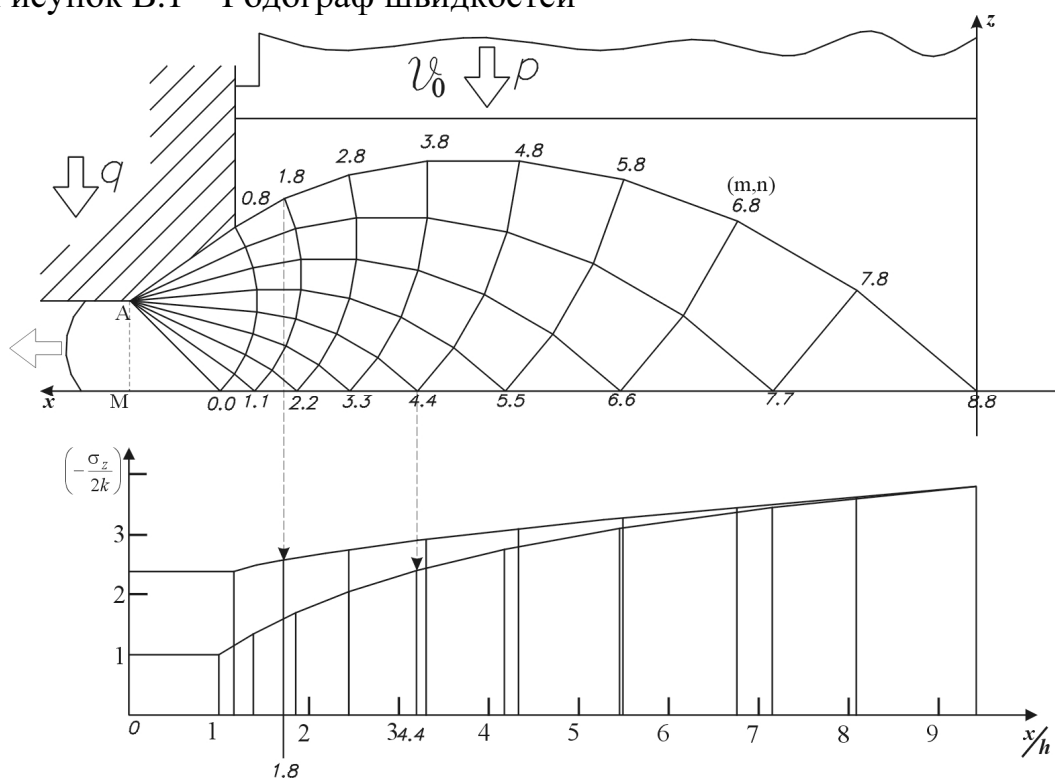


Рисунок В.2 - Поля ліній ковзання

Додаток Г
Верхня оцінка тисків деформування
й розрахунок накопиченого ступеня деформації

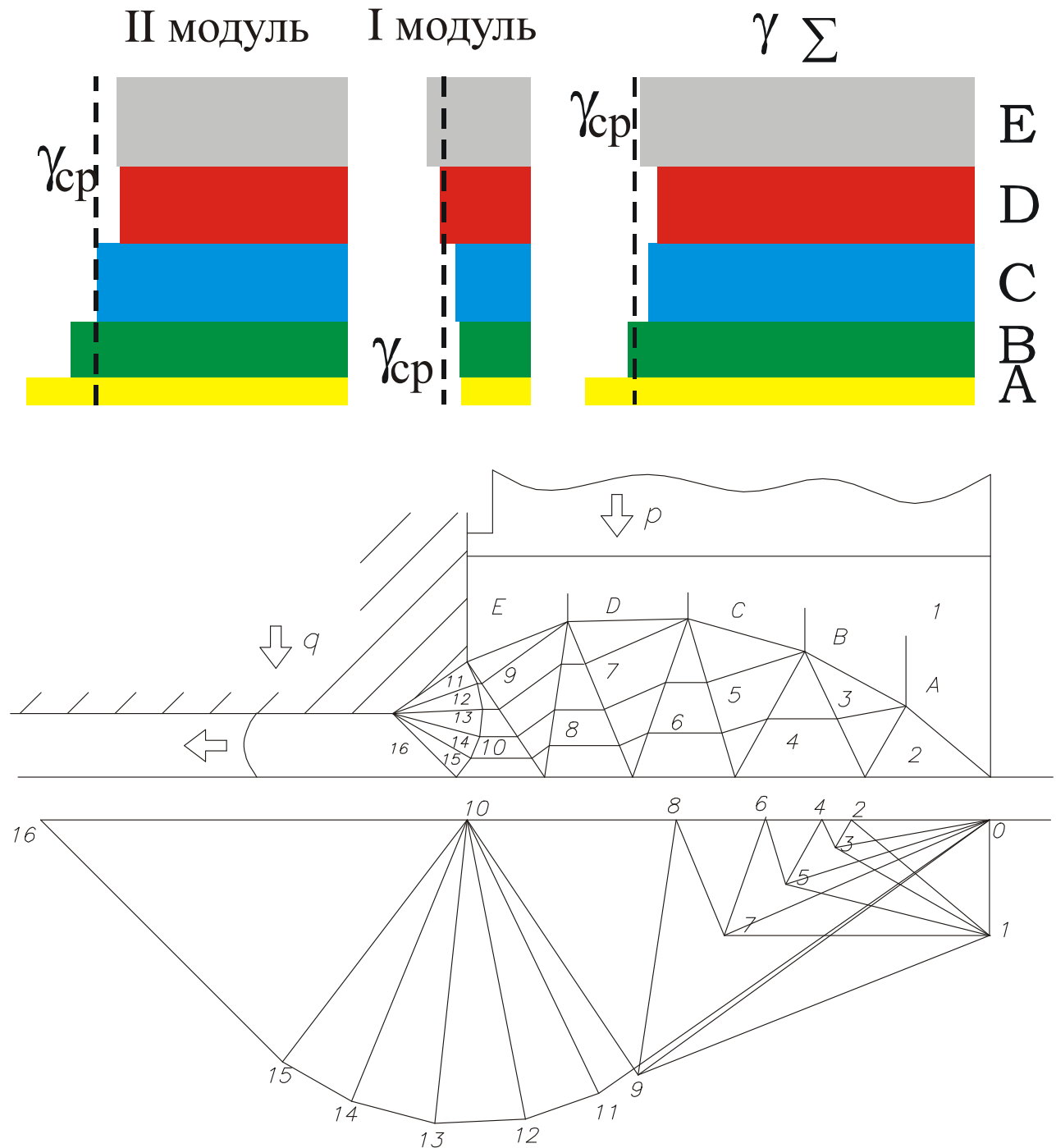


Рисунок Г.1 - Верхня оцінка тисків деформування й розрахунок
накопиченого ступеня деформації

Додаток Д

Характеристика кривих зміцнення

Матеріал	σ_s , МПа, при e									
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
М2	220	278	330	365		422		461		506
М1	275	315	365	386	400	422	432			
М3	299	330	375	396	405	425	435			
08 кп	495	565	645	705	720		850			
15 кп	518	600	664	701		770		815		860
Сталь 10	520	620	770	770	780		805			
Сталь 20Х	600	700	760	810		880		937		
Л62	455	530	595		700		795			
Л63	334	455	544	620		740		843		
Армко	420	500	550	600	650	695				
КН1-3	340	450	495	510	560	580	600	616		
Амцм(1)	195	205	220	225	230	233	235			
Амцм(2)	190	200	215	220	225	228	230			
Амцм(3)	140	165	180	188	192	195		200		
АД33м	200	215	230	235	240		260			
Амг(2)	205	230	280	320	330	340	345			
АД1	95	118	125	132	136	140	152			

Додаток Е
Розрахункова схема й годограф швидкостей для процесу
комбінованого видавлювання

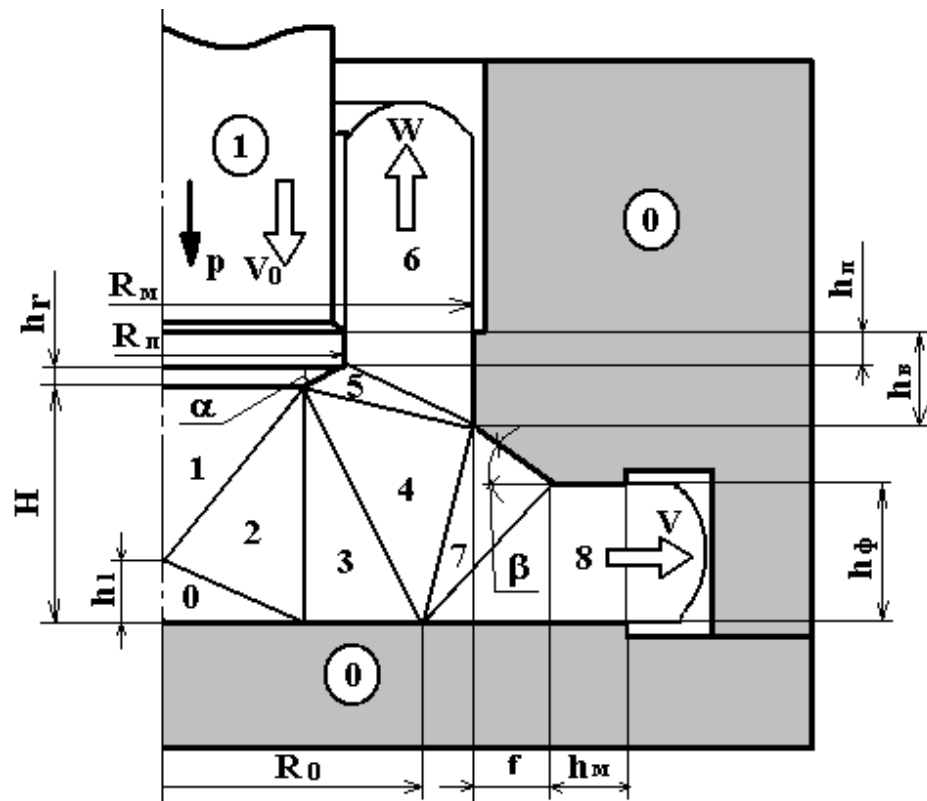


Рисунок Е.1 - Розрахункова схема при комбінованому видавлюванні

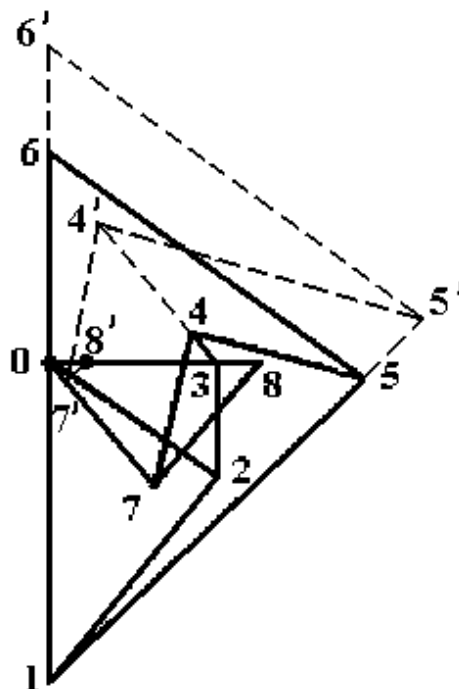


Рисунок Е.2 – Годограф швидкостей для комбінованого видавлювання

Додаток Ж
Контури напівфабрикату на послідовних стадіях
формування

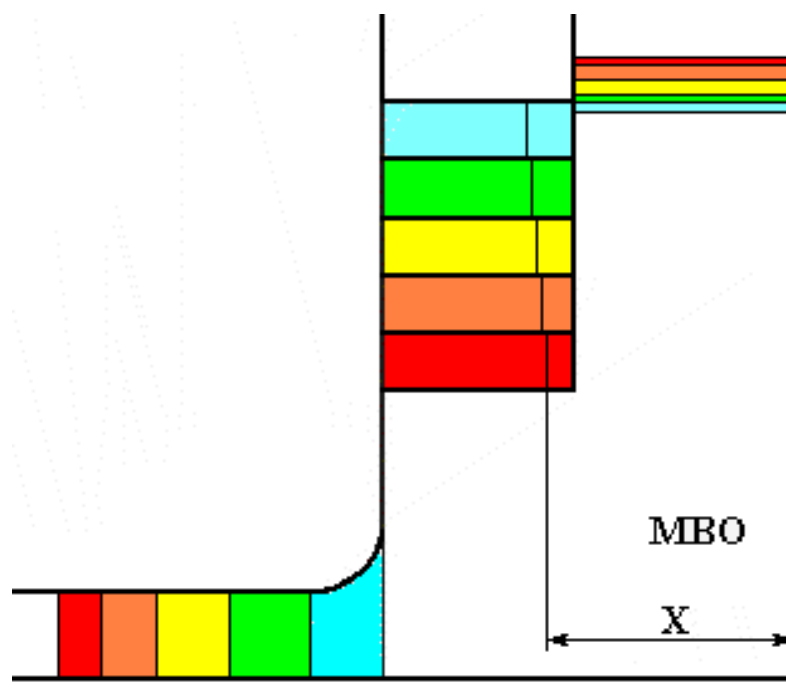
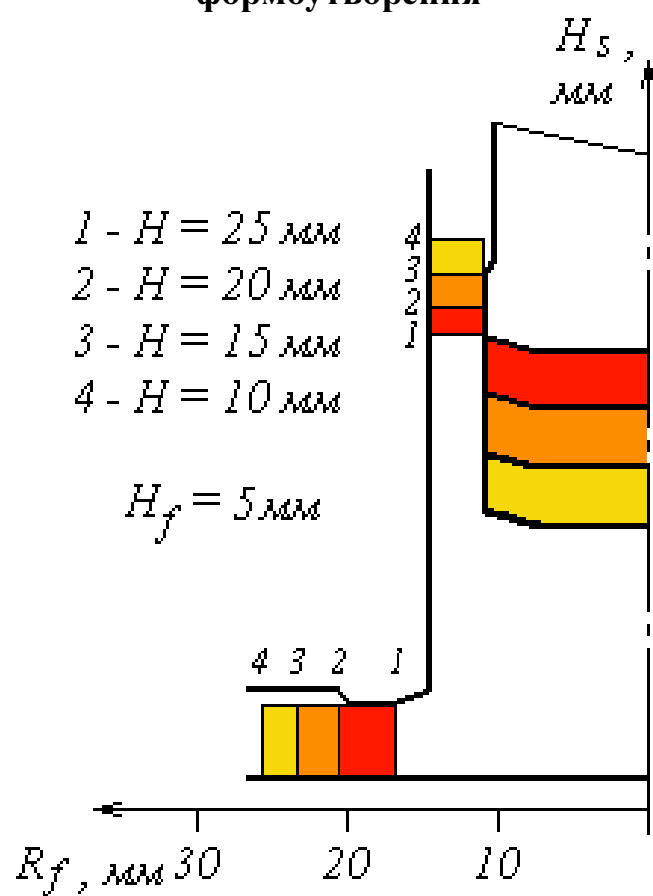
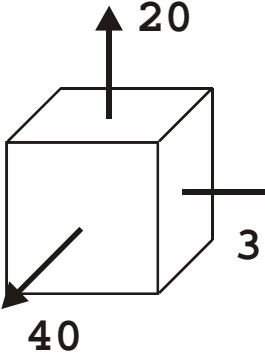
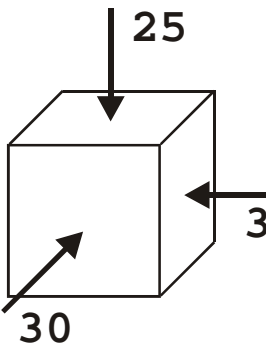
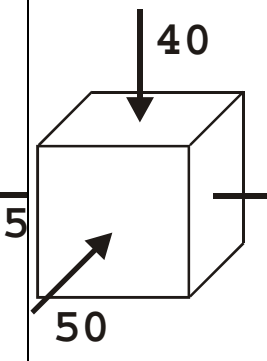
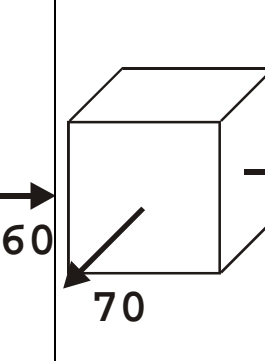
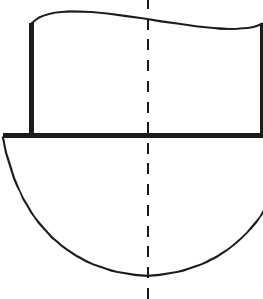
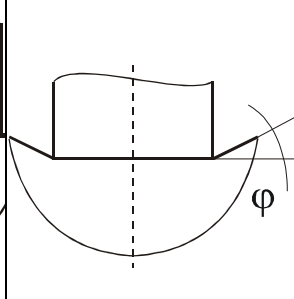
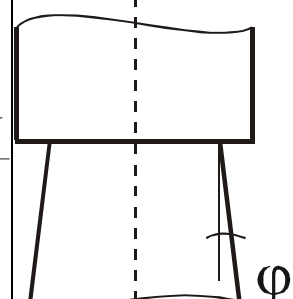
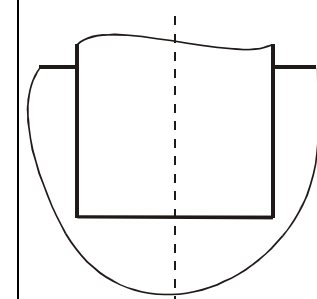
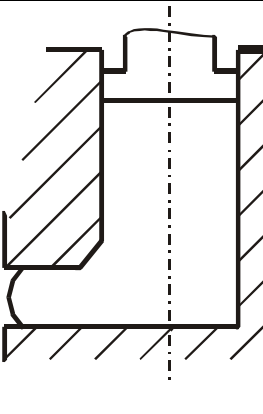
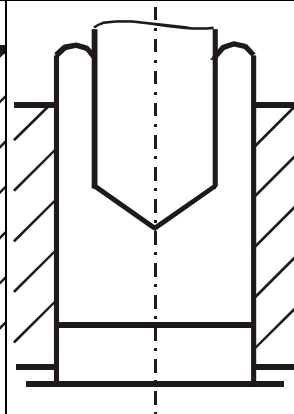
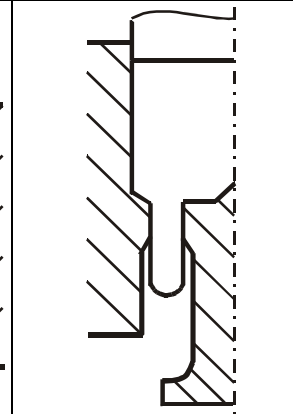
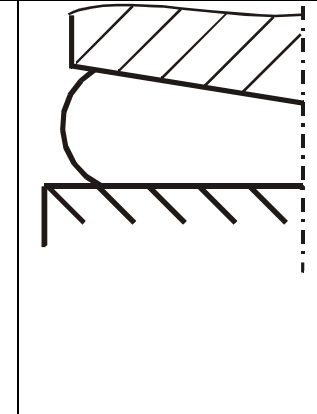
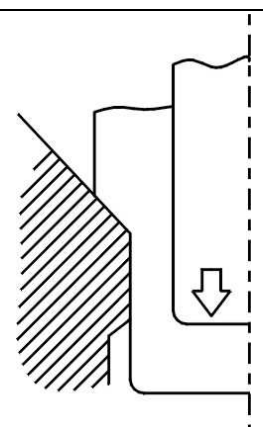
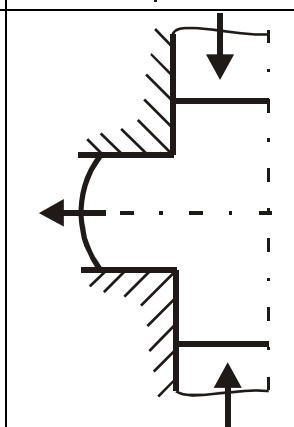
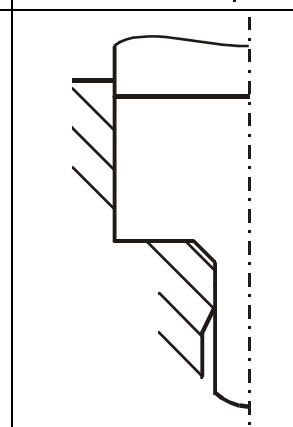
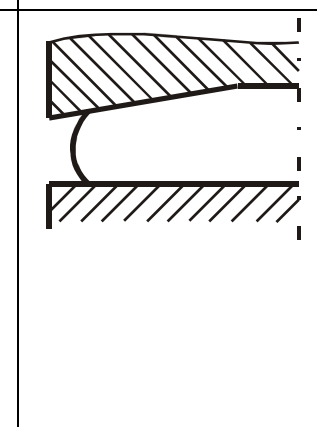


Рисунок Ж.1- Контури напівфабрикату на послідовних стадіях формування

Додаток И
Контрольні питання з дисципліни
«Теорія процесів кування і штампування»

Таблиця И.1

№ П/п	Питання			
1	2	3	4	5
1	ПДС	Стаціонарна течія	Гіпотеза Хаара-фон Кармана	Вісесиметрична течія
2	Жорсткопластичне середовище	Ідеальна пластичність	Пружньопластичне зміцнююче середовище	Умова сталості об'єму
3	Які схеми переважніше з погляду:			
	підвищення пластичності	зниження опору деформування	проробки металу	утворення волокнистої структури
4	Механічні схеми деформацій (МДС) для процесів:			
	прямого видавлювання і волочіння	протягання і прокатки	осадження з тертям і без тертя	витяжки
5	Перейти від схеми напруження до схеми деформацій:			
				
6	Принцип заміни проектування сил проектуванням поверхонь	Наведений тиск \bar{p}	Як перейти від наведеного тиску \bar{p} до сили P	Робота деформування A
7	Навести вирази компонентів напруження в умовах:			
	ПДС(σ_x, σ_z)	ПДС (σ_x, σ_z з використанням кута ω)	ПДС (σ_x, σ_z з використанням $(n + m)$)	τ_{xz}
8	Властивості ліній ковзання	Граничні умови (приклад)	Припущення метода ліній ковзання	Способи побудови поля ліній ковзання

Продовження таблиці И.1				
1	2	3	4	5
9	Показати застосування сітки двоцентрової віялової сітки ліній ковзання для налізу процесу:			
	протягання	осадження	відкритого штампування	видавлювання
10	Побудувати лінії ковзання і записати \bar{p} :			
				
11	$\varphi_k =$	$\Delta\sigma_{cp} =$	Тиск роздачі кільця \bar{p}	Тиск осадження фіктивного диска \bar{p}
12	Ізобари	Ізокліни	$\sigma_{c0.0} = ?$	Графічний спосіб побудови сітки
13	Навести схеми і вирази поля швидкостей, годографа:			
				
14				
				
	Граничні умови (приклад)	Припущення енергетичного методу	Припущення методу верхньої оцінки	Використані закони тертя