

**Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт
з дисципліни
«Теорія процесів кування і штампування»
(для студентів спеціальності 7.090404)**

Затверджено
на засіданні кафедри ОМТ
Протокол №11 від 29.01.02 р.

ПЕРЕЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні методичної
ради факультету
Протокол № 6 від 22.02.2012

Краматорськ 2003

УДК. 621.73

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Теорія процесів кування і штампування» (для студентів спеціальності 7.090404)/

Укл.: Б.О. Михайленко, І.С. Алієв, О.М. Ульянов. – Краматорськ: ДДМА, 2003.-30 с.

Містять рекомендації студентам для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Теорія процесів кування і штампування», загальні відомості з тем робіт, контрольні питання для перевірки знань студентів.

Укладачі:

Борис Омелянович Михайленко, доц.

Іграмотдін Серажутдінович Алієв, проф.

Олександр Миколайович, Ульянов, ст. преп

Відповідальний за випуск Іграмотдін Серажутдінович Алієв, проф.

1 Лабораторна робота №1

Дослідження силових параметрів осаджування вісесиметричних заготовок

Ціль роботи: вивчити характер формозмінення заготовок, вплив основних факторів процесу осаджування на силові характеристики деформування, відробити методики розрахунку зусиль деформування за відомою епюрі нормальних контактних напружень.

1.1 Загальні відомості

Осаджування - технологічний процес деформування заготовок, при якому під дією зовнішніх сил відбувається збільшення площі поперечного перерізу цієї заготовки за рахунок зменшення її висоти. Осаджування є найбільш енергоємною операцією кування, тому при виборі технологічного устаткування величина зусилля осаджування є визначальною.

Силові параметри операції осаджування визначаються за формулами, що у силу трудомісткості математичного характеру виводяться в теорії обробки металів тиском із переліку допущень. Так, наприклад, величини нормальних контактних напружень σ_k і середніх нормальних контактних тисків q визначаються за формулами:

$$\sigma_k = \sigma_s \left[1 + \frac{\mu(D - 2\rho)}{2H} \right], \quad (1.1)$$

$$q = \sigma_s \left[1 + \frac{\mu D}{3H} \right], \quad (1.2)$$

де σ_s - опір деформуванню, МПа;

μ - коефіцієнт контактного тертя;

H, D - поточні висота і діаметр циліндричної заготовки, мм;

ρ - відстань від вісі зразка до крапки виміру напруги σ_k , Мпа.

Величину розподілу нормальних контактних напружень можна визначити експериментально з використанням точечних (штифтових) месдоз. (чи штифтових кернів). Сутність останнього способу полягає в тім, що діюче на штифт із боку деформованого металу зусилля викликає впровадження протилежного торця штифта, виконаного у виді сфери чи конуса, у спеціальну прокладку. Чим більше зусилля,

що діє на штифт, тим більше відбиток від сферичного (конічного) кінця штифта на прокладці.

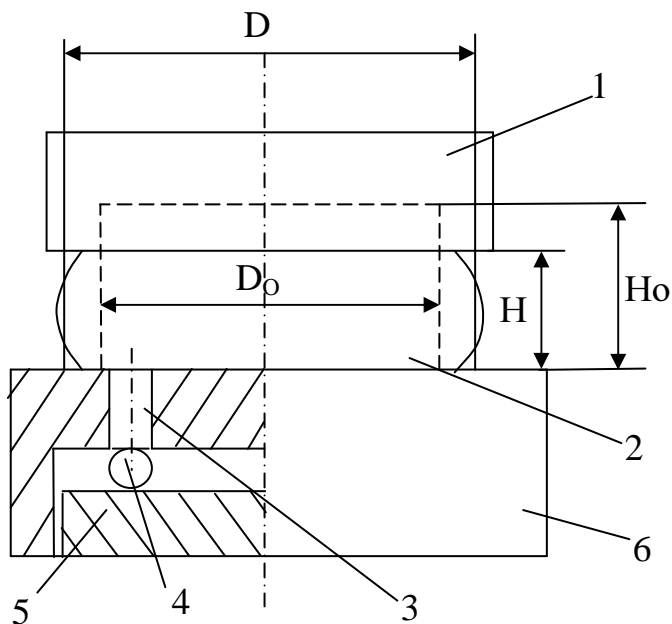
Для визначення зусилля за відомим відбитком необхідно знати залежність діаметра відбитка від зусилля, що діє на штифт. Цю залежність одержують у спеціальних тарувальних досвідах, коли штифт навантажують відомим зусиллям і вимірюють діаметр отриманого при цьому відбитка.

Експериментальна величина нормальних контактних тисків визначається з вираження

$$P_k = 4P_u / \pi d_u^2, \quad (1.3)$$

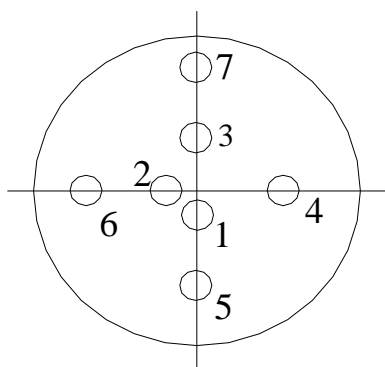
де P_u – зусилля, що діє на штифт, Н;
 d_u – діаметр відбитка, мм.

Схема пристрою для визначення величин контактних тисків приведена на рис. 1.1.



1-верхній бойок, 2-осаджувальний зразок, 3-штифт, 4-индекатор, 5-плита-прокладка, 6-обойма

Рисунок 1.1 - Пристрій для осаджування зразків



1 - 7 – відбитки, отримані на алюмінієвій прокладці після дослідження

Рисунок 1.2 - Вид прокладки 5 після деформації зразка 2

Матеріальне забезпечення

- 1 Испитова машина.
- 2 Пристрій для осаджування зразків.
- 3 Свинцеві зразки.
- 4 Інструментальний мікроскоп.
- 5 Вимірювальний інструмент.

1.2 Порядок проведення роботи

1 Побудувати тарувальний графік за даними вдавнення кульки в плиту-прокладку.

Дані вимірів заносити до табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Залежність розмірів відбитка d_0 від зусилля, що діє на кульку

Зусилля, Н										
d_0 , мм										

2 Використовуючи пристрій для осаджування зразків, зробити деформування заготівок. Результати вимірів занести до табл. 1.2.

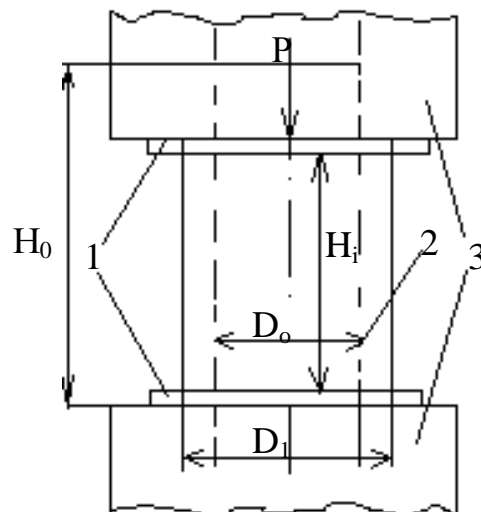
Таблиця 1.2 - Дані експериментів осаджування зразків

Но мер дос лід у	Но/Do	Н/ D	Змаще ння	Р	do при ρ , мм						
					5	10	15	20	25	30	35
1											
2											
3											

3 Зробити одноосьовий стиск зразка без тертя. Дані вимірів занести до табл.1.3.

Таблиця 1.3 - Експерименти з одноосьового стиску зразків без тертя

D, Н	З а м і р и															
	1				2				3				4			
	Р, Н	Н, мм	σ_s , МПа	ε , %	Р, Н	Н, мм	σ_s , МПа	ε , %	Р, Н	Н, мм	σ_s , МПа	ε , %	Р, Н	Н, мм	σ_s , МПа	ε , %



1-фторопластові прокладки; 2- зразок (свинцевий); 3-бойки
Рисунок 1.3 – Схема одноосьового стиску зразка без тертя
Дослідження проводяться в такий спосіб.

При осаджуванні зразка заміряються одночасно зусилля осаджування P_i і висота H_i . Виміри проводяться в декількох точках (4-5).

За результатами досліджень розраховуються σ_s і ε у кожній точці:

$$\sigma_s = 4P_i H_i / \pi D_o^2 H_o, \quad (1.4)$$

$$\varepsilon = H_o - H_i / H_o. \quad (1.5)$$

4 Розрахувати нормальні контактні напруження за залежностями (1.1), (1.2), (1.3), побудувати епюри контактних напруження, розрахувати зусилля осаджування і порівняти його з обмірюваним.

Дані розрахунків занести до табл.1.4.

Таблиця 1.4 - Розподіл напружень у контактній поверхні

D, H , мм	Змаш- ення	Р _{від} (Н) і σ (Мпа) в залежності від ρ (мм)							q до с МПа	q роз Мпа	Р роз, Н	Р дос, Н
		5	10	15	20	25	30	35				

1.3 Зміст звіту

Звіт повинний містити:

- 1 Назву, ціль і короткий опис загальних відомостей.
- 2 Ескіз пристрою (див. рис.1.1).
- 3 Заповнені для всіх підгруп дані в табл.1.1, 1.2, 1.3, 1.4.
- 4 Тарувальний графік залежності $P = f(d_0)$.
- 5 Криву зміцнення $\sigma_s = f(\varepsilon)$.
- 6 Графік епюр нормальних контактних напружень досліджень: для всіх підгруп - олівцем, для власної підгрупи - чорнилом розрахунків – дані власної підгрупи ($\sigma_k = f(\rho)$).
- 7 Висновки з роботи.

1.4 Контрольні питання

- 1 Що називається осаджуванням?
- 2 Від яких параметрів залежить зусилля осаджування?
- 3 Як спрямовані нормальні і дотичні напруження при осаджуванні?
- 4 Як за відомою епюри нормальних контактних напружень визначити зусилля осаджування?
- 5 Як впливають дотичні контактні напруження на величину нормальних контактних напружень?

2 Лабораторна робота № 2

Дослідження процесу прошивання циліндричних заготовок

Ціль роботи: ознайомитися з процесом прошивання, вивчити характер формозміни заготовки при прошиванні, вплив основних факторів на силові характеристики деформування.

2.1 Загальні відомості

Прошивання являє собою ковальську операцію, при якій у заготовках одержують отвір.

На практиці розрізняють відкрите і закрите прошивання.

2.1.1 Відкрите прошивання

Відкрите прошивання застосовується в технології кування при виготовленні пустотілих поковок – кілець, бандажів, барабанів, корпусів, втулок і т.д. У процесі прошивання форма заготовки спотворюється – її висота зменшується, а зовнішній діаметр нерівномірно збільшується (рис.2.1). При відносинах $D_0/d < 2$ через значне перекручування форми заготовки відкрите прошивання не застосовують.

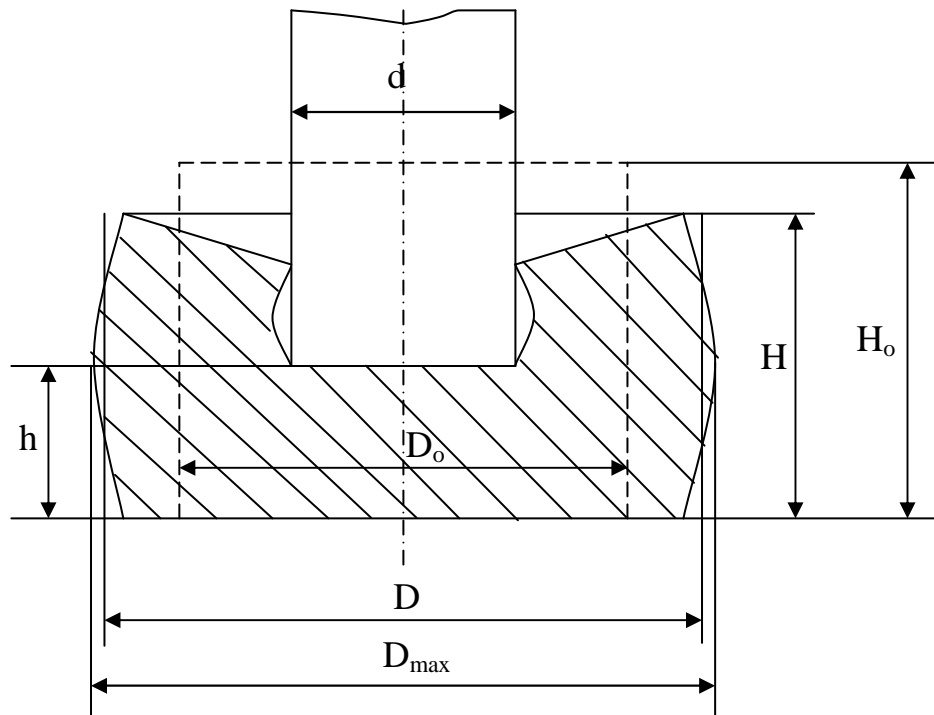


Рисунок 2.1 - Схема процесу відкритого прошивання

Розміри заготовки після відкритого прошивання можуть бути визначені з виражень:

$$H = H_0 \sqrt{\frac{V - fH_0}{V - fh}}, \quad (2.1)$$

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{1}{H} [V + f(H - h)]}, \quad (2.2)$$

$$D_{\max} = 1,13 \sqrt{\frac{1,5}{H} [V + f(H - h)] - 0,5F_0}, \quad (2.3)$$

де $f = \frac{\pi d^2}{4}$; $F_0 = \frac{\pi D_0^2}{4}$; $V = \frac{\pi D_0^2}{4} H_0$.

Силові характеристики процесу прошивання знаходяться з аналізу напружено-деформованого стану. Так, величина середнього питомого зусилля деформування визначиться з вираження

$$p = \sigma_s \left(1 + 1,1 \ln \frac{D}{d} + \frac{d}{6h} \right). \quad (2.4)$$

Залежність (2.4) отримана з умови, що весь метал заготівлі переходить у пластичний стан. У дійсності це не так. При прошиванні в пласт

ичний стан переходить лише визначена частина металу, приблизно дорівнює за висотою $1/6$ діаметра пуансона d . З обліком цього формула (2.4) набуває виду:

$$p = \sigma_s \left(2 + 1,1 \ln \frac{D}{d} \right). \quad (2.5)$$

2.1.2 Закрите прошивання

При закритому прошиванні вихідна заготовка міститься в контейнер, що обмежує радіальний плин металу. Тому при закритому прошиванні перекручування бічної поверхні заготовки, як при відкритому прошиванні, не спостерігається, тобто діаметр заготовки приблизно дорівнює діаметру контейнера.

Закрите прошивання широко застосовується в технології гарячого штампування при виробництві поковок типу «склянка».

У процесі деформування метал тече назустріч руху пуансона в зазор між пуансоном і контейнером. Висота заготовки при цьому збільшується (рис.2.2).

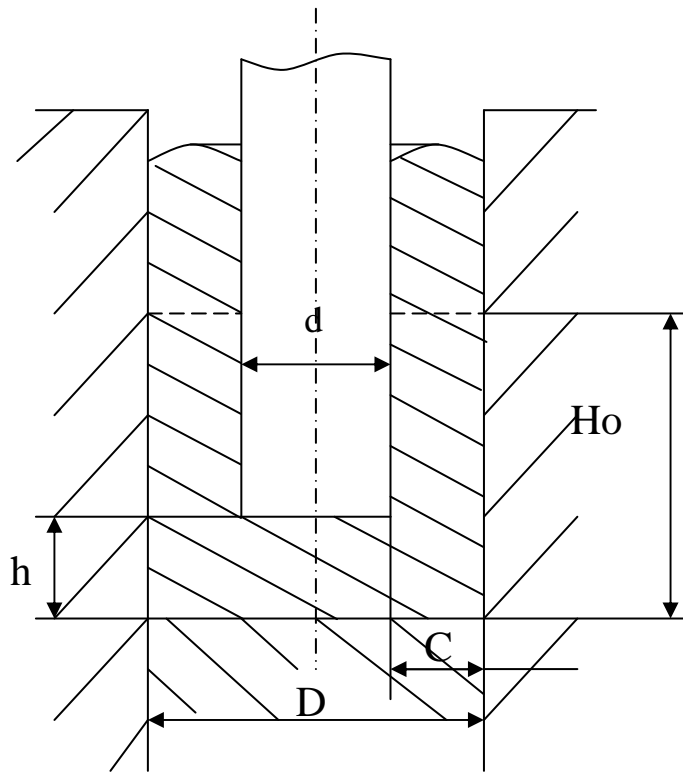


Рисунок 2.2 - Схема процесу закритого прошивання

Середнє питоме зусилля деформування при закритому прошиванні визначається з вираження

$$p = \sigma_s \left[2 + \left(1 + \frac{F}{f} \right) \ln \left(\left(\frac{F}{f} \right) / \left(\frac{F}{f} - 1 \right) \right) + \frac{d}{6h} \right] . \quad (2.6)$$

Якщо прийняти, за аналогією з випадком відкритого прошивання, висоту осередка деформації яка дорівнює $1/6 d$, то вираження (2.6) набуває виду:

$$p = \sigma_s \left[3 + \left(1 + \frac{F}{f} \right) \ln \left(\left(\frac{F}{f} \right) / \left(\frac{F}{f} - 1 \right) \right) \right] . \quad (2.7)$$

Питоме зусилля можна визначити і за іншою формулою

$$p = 2\sigma_s \left[1 + \frac{h}{4C} + \frac{d}{12h} \right] . \quad (2.8)$$

З цієї формули випливає, що осередок пластичної деформації складає за висотою величину $\sqrt{dc/3}$.

2.2 Матеріальне забезпечення

- 1 Іспитова машина.
- 2 Пристрій для прошивання.
- 3 Свинцеві зразки.
- 4 Вимірний інструмент.

2.3 Порядок проведення роботи

- 1 Зробити прошивання заготовок двома способами на одну величину h . Дані вимірів і розрахунків занести до табл.2.1 і 2.2 (σ_s - за даними роботи №1).

Таблиця 2.1 - Результати вимірів і розрахунків при відкритому прошиванні

Розміри, мм								Значення, МПа		
D_0	H_0	d	h	$H_{\text{экс}}$	$H_{\text{роз(2.1)}}$	$D_{\text{max экс}}$	$D_{\text{max роз (2.3)}}$	$P_{\text{роз(2.4)}}$	$P_{\text{роз(2.5)}}$	$P_{\text{экс,}}$

Таблиця 2.2 - Результати вимірів і розрахунків при закритому прошиванні

Розміри, мм				Значення, МПа			
D_0	H_0	d	h	$P_{\text{роз}}$			$P_{\text{экс}}$
				(2.6)	(2.7)	(2.8)	

2.4 Зміст звіту

- 1 Назва, ціль і короткий опис загальних відомостей.
- 2 Схеми процесів відкритого і закритого прошивання.
- 3 Заповнені для всіх підгруп дані в табл.2.1 і 2.2.
- 4 Графіки залежностей: $H=f(D/d)$; $D_{\text{max}}=f(D/d)$ - для випадку відкритого прошивання; $P=f(D/d)$ - для випадку відкритого і закритого прошивання (дослідженні і розрахункові дані всіх підгруп).
- 5 Висновки з роботи.

2.5 Контрольні питання

- 1 Що розуміється під нерівномірною зміною зовнішнього діаметра заготовки в процесі відкритого прошивання?
- 2 Чому зі зменшенням діаметра прошивня спостерігається інтенсивне зменшення висоти заготовки, що прошивається (відкрите прошивання)?
- 3 Чому при відкритому прошиванні зі збільшенням відносини D_0/d питоме зусилля деформування зростає, а повне падає?
- 4 Чому при закритому прошиванні зі збільшенням діаметра пуансона зростають повні і питомі зусилля деформування, у той час як при відкритому прошиванні зростає повне зусилля деформування, а питомі зменшуються?
- 5 Чому в кінцевий момент прошивання зусилля деформування різко зростають?

3 Лабораторна робота № 3

Дослідження процесу осаджування прямокутних зразків

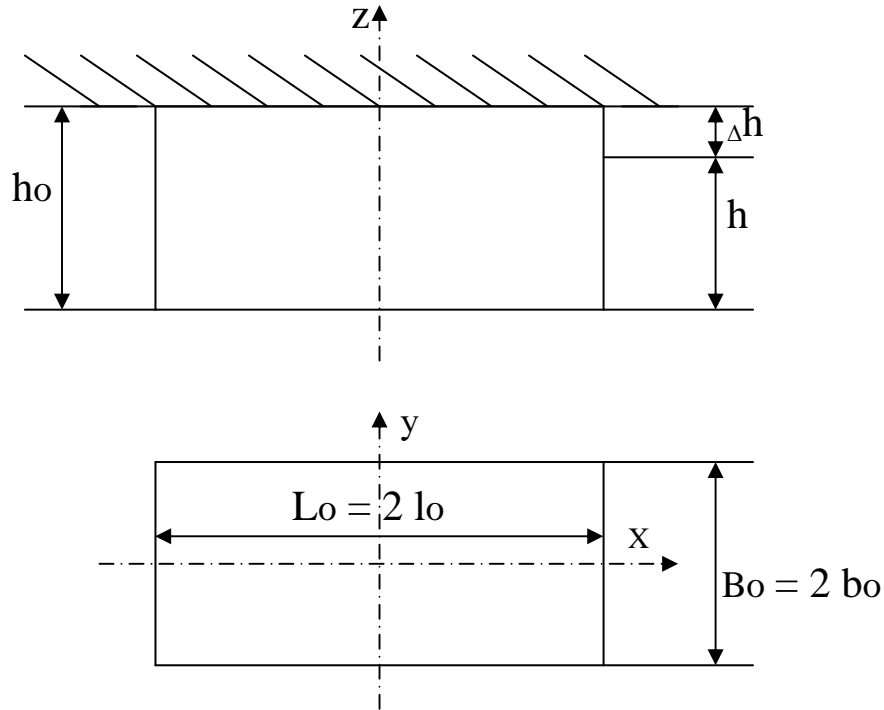
Ціль роботи: вивчити характер формозміни заготовок, вплив основних факторів процесу осаджування на силові характеристики деформування.

3.1 Загальні відомості

Осаджування прямокутних зразків (паралелепіпедів) можна розглядати як одну з операцій вільного кування. Прикладом застосування цієї операції є кування штампових кубиків. Основною задачею технолога при розробці цієї операції є розрахунок формозміни і сили деформації.

У реальних умовах деформація при осаджуванні паралелепіпедів нерівномірна. Нерівномірність деформації є наслідком зовнішнього тертя. В міру зменшення нерівномірності розподілу сил зовнішнього тертя нерівномірність деформації зменшується.

Розміри паралелепіпеда після осаджування, а також силу деформації можна визначити, використовуючи результати рішення, виконаного за допомогою варіаційного принципу.



h_0 – вихідна висота зразку;
 B_0 - вихідна ширина зразку;
 L_0 – вихідна довжина зразку;
 h - висота зразку після осаджування;
 Δh - величина осаджування

Рисунок 3.1 - Зразок до деформації

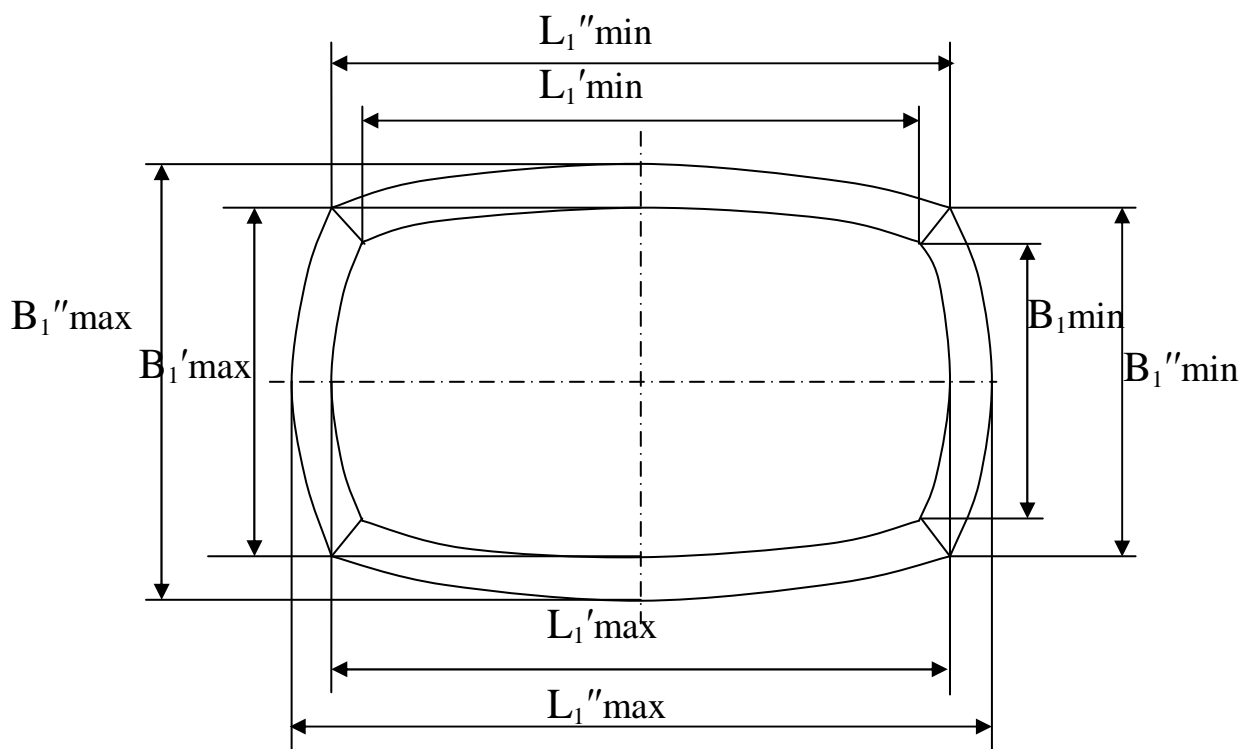


Рисунок 3.2 - Зразок після деформації (вид зверху)

Величина середньої логарифмічної деформації за шириною зразка визначиться з вираження

$$\ln \frac{B_1}{B_0} = \left(1 - \frac{a}{\xi}\right) \ln \frac{h_0}{h_1}, \quad (3.1)$$

де B_1 – середня розрахункова ширина зразка, мм;

$\frac{a}{\xi}$ - параметр, що впливає на умови деформування (швидкість і тертя),

Величина параметра може бути визначена з номограми (рис.3.3).

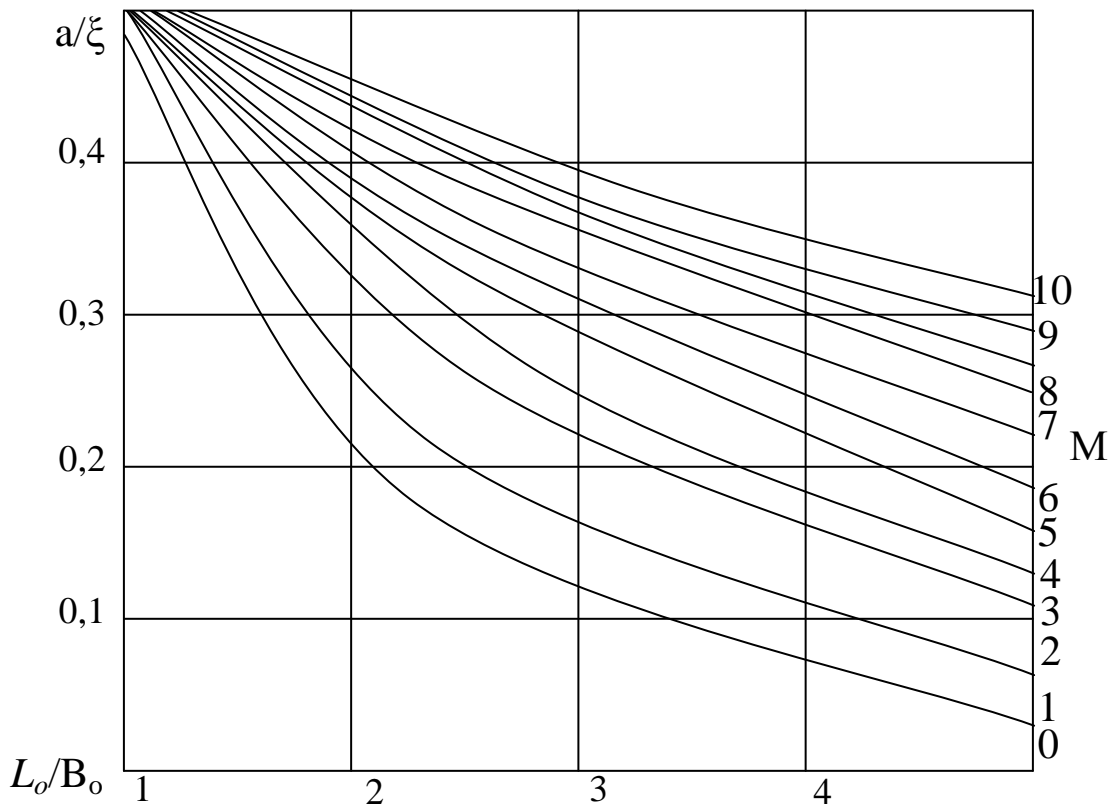


Рисунок 3.3 - Графік для розрахунку $\frac{a}{\xi}$ в залежності

від $\frac{l}{b} = \frac{L_0}{B_0}$ і $M = 0,75 \frac{h_0}{\psi B_0}$

Середні розміри паралелепіпеда можуть бути знайдені методом ітерації. Ітеративний розрахунок ведеться в наступній послідовності:

-для початкових розмірів за графіком на рис.3.3 визначають параметр $\frac{a}{\xi}$;

-за формулою (3.1) визначають B_1 (а L_1 – з умови $h_0 B_0 L_0 = h_1 L_1 B_1$);

визначають параметр $\frac{a}{\xi}$ для середніх за осаджуванням значень $\left(\frac{L}{B}\right)_{cp}$ і

$\left(\frac{h}{B}\right)_{cp}$ за формулами:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_{cp} = \frac{1}{2} \left(\frac{L_0}{B_0} + \frac{L_1}{B_1} \right); \quad \left(\frac{h}{B}\right)_{cp} = \frac{1}{2} \left(\frac{h_0}{B_0} + \frac{h_1}{B_1} \right);$$

-за формулою (3.1) уточнюється значення B_1 для нового параметра $\frac{a}{\xi}$.

Розрахунок закінчується тоді, коли після чергового перерахунку величин B_1 і L_1 їхні значення розрізняються незначно від отриманих на попередньому кроці. Звичайно для одержання остаточного результату досить виконати 2...3 ітерації.

З експерименту B_1 можна обчислити за формулою

$$B_1 = \frac{1}{2} \left\{ [B'_{1\min} + 0,65(B''_{1\min} - B'_{1\min})] + [B'_{1\max} + 0,65(B''_{1\max} - B'_{1\max})] \right\}. \quad (3.2)$$

З експерименту L_1 обчислюється за формулою

$$L_1 = \frac{1}{2} \left\{ [L'_{1\min} + 0,65(L''_{1\min} - L'_{1\min})] + [L'_{1\max} + 0,65(L''_{1\max} - L'_{1\max})] \right\}. \quad (3.3)$$

Повне зусилля деформування зразка складе:

$$P = 2\tau_s B_1 L_1 \left[\sqrt{1 - \frac{a}{\xi} + \left(\frac{a}{\xi}\right)^2} + \frac{\psi}{2\sqrt{3}} \frac{B_1}{h_1} \sqrt{\left(1 - \frac{a}{\xi}\right)^2 + \left(\frac{a}{\xi}\right)^2 \frac{L_1^2}{B_1^2}} \right], \quad (3.4)$$

де $2\tau_s = 1,15\sigma_s$ (σ_s – поріг текучості);

ψ - (параметр) показник сил тертя: $\psi = 0,7$ – при деформуванні між шорсткуватими плитами без змащення; $\psi = 0,1$ – при деформуванні між гладкими плитами зі змащенням.

3.2 Матеріальне забезпечення

- 1 Испитова машина.
- 2 Свинцеві зразки.
- 3 Вимірювальний інструмент.
- 4 Оснастка для осаджування.

3.3 Порядок проведення роботи

1 Зробити осаджування двох зразків між гладкими (зі змащенням) і шорсткуватими (без змащення) плитами, результати занести до табл. 3.1.

2 За формулами (3.1) і (3.3) розрахувати величини B_1 , P_1 , L_1 (L_1 – з умови, що $BLh = \text{const}$), за формулами (3.2) і (3.4) - величини B_1 і L_1 , отримані з експериментальних даних, (σ_s - за даними роботи №1).

3.4 Зміст звіту

- 1 Назва, ціль і короткий опис загальних відомостей.
- 2 Ескіз виміру розмірів заготовки після осаджування.
- 3 Заповнені для всіх підгруп дані в табл.3.1.
- 4 Графіки залежностей $B=f(h)$, $L=f(h)$, $P=f(h)$ із постановкою розрахункових і експериментальних даних для всіх підгруп за обома способами осаджування: дані інших підгруп – олівцем, своєї підгрупи – чорнилам.
- 5 Висновки з роботи.

Таблиця 3.1 - Результати вимірів і розрахунків

Розміри, мм			Дослідження заміри після осаджування, мм								
h_0	B_0	L_0	h_1	$L'_{1\min}$	$L''_{1\min}$	$L'_{1\max}$	$L''_{1\max}$	$B'_{1\min}$	$B''_{1\min}$	$B'_{1\max}$	$B''_{1\max}$

Продовження таблиці 3.1

Середні заміри після осаджування, мм				Сила осаджування, Н	
Дослід		Розрахунок		Дослід	Розрахунок
B_1 (3.2)	L_1 (3.3)	B_1	L_1	$P_{\text{екс}}$	$P_{\text{расч}}$ (3.4)

3.5 Контрольні питання

- 1 Де застосовується осаджування прямокутних заготовок?
- 2 Як пояснюється зміна форми прямокутної заготовки при осаджуванні?
- 3 Основні фактори, що впливають на розширення.
- 4 У чому складаються особливості осаджування циліндричних і прямокутних зразків?

4 Лабораторна робота № 4

Дослідження процесу відкритого видавлювання

Ціль роботи: вивчити характер формозміни заготовок в процесі деформування, перевірити прийнятність існуючих методик з визначення силових і геометричних характеристик заготовок в процесі відкритого видавлювання.

4.1 Загальні відомості

Відкрите видавлювання чи видавлювання осаджуванням в кільцях – різновид технологічного процесу обробки тиском, при якому метал заготовки тече як у радіальному і тангенціальному напрямках (осадження), так і в отвір кілець (видавлювання). Весь обсяг заготовки при такому деформуванні може бути розділений на дві зони, у яких метал тече в різних напрямках: у радіальному напрямку між кільцями (плитами) і в осьовому напрямку – в отвори кілець. Дотичні напруження на контактних поверхнях у цих зонах спрямовані в протилежні сторони. Між зонами мається поверхня розділу плинину металу, обумовлений геометричними характеристиками заготівлі, інструмента, наявністю контактної тертя і нерівномірністю напружено-деформованого стану.

З метою спрощення ця поверхня може бути замінена циліндричною поверхнею з радіусом r (рис.4.1).

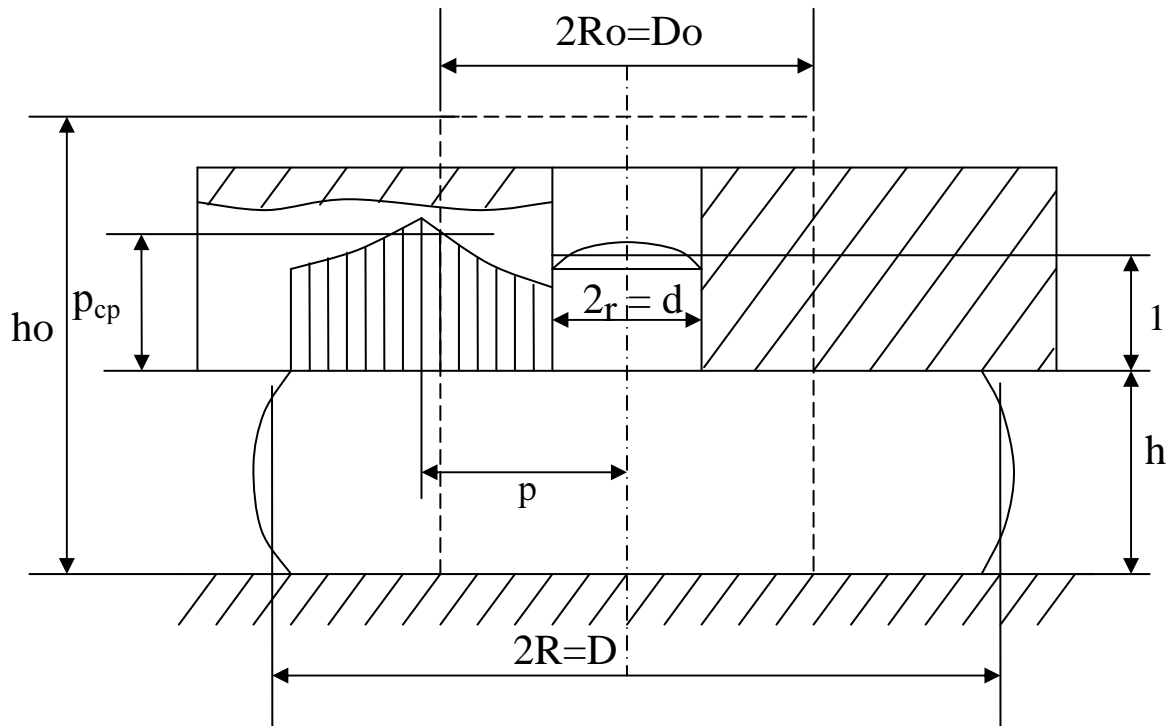


Рисунок 4.1 - Схема осаджування циліндричного зразка в кільцях

Положення поверхні розділу плину p у кожен момент деформування може бути визначене на основі побудови спрощених епюр нормальних контактних тисків. Максимум епюри буде відповідати границі плину металу.

Відносний радіус поверхні розділу плину металу може бути визначений за формулою

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{R} + 1}{2} - \frac{1 + 1,3 \lg \bar{R} + \bar{r}^{-1}}{8\mu\bar{r}}, \quad (4.1)$$

де $\bar{\rho} = \frac{\rho}{r}$; $\bar{R} = \frac{R}{r}$; $\bar{r} = \frac{r}{h}$; μ - коефіцієнт тертя.

Середній нормальний контактний тиск P_{cp} , знайдений за варіаційним методом пластичності, складе:

$$P_{cp} = \sigma_s \left[2 + \frac{2\mu(\bar{R} - \bar{\rho})\bar{r}}{\bar{R}^2 - 1} (\bar{R}^2 + \bar{R}\bar{\rho} - \bar{\rho} - 1) + \frac{1}{4r} \right]. \quad (4.2)$$

Величину P_{cp} можна розрахувати за іншою залежністю, отриманої з використанням інженерного методу теорії пластичності:

$$P_{cp} = \sigma_s \frac{1,1 \sqrt{\frac{h}{2r}} \ln\left(\frac{R'}{r}\right)}{\ln 2 \left(r + \mu \frac{D_0}{h_0}\right)},$$

$$\partial e R = R_0 \sqrt{\frac{h_0}{h}}.$$
(4.3)

Загальне зусилля осадження визначиться з вираження

$$P = P_{cp} \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2).$$
(4.4)

При розробці процесу відкритого видавлювання вирішальне значення має прогнозування величини відростка, що впливає в порожнину отвору. Ця величина є основним технологічним параметром, що визначає формозміну, а отже, і всі розміри поковки. Обсяг металу V_n , що впливає, може бути визначений за формулою

$$V_n = \pi R_0^2 h_0 z,$$
(4.5)

де z – ступінь витікання металу в порожнину,

$$Z = 1 - \frac{\frac{d_0}{h} + m}{\frac{d}{h} + m} e^{\left[\frac{m \left(\frac{h_0}{d} - \frac{h}{d} \right)}{\left(1 + m \frac{h_0}{d} \right) \left(1 + m \frac{h}{d} \right)} \right]},$$

де $m = \frac{1}{\mu}$.

Тоді

$$R = \sqrt{\frac{R_0^2 h_0}{h} (1 - z)},$$
(4.6)

$$l = \frac{R_0 h_0}{r^2} Z.$$
(4.7)

4.2 Матеріальне забезпечення

- 1 Испитова машина.
- 2 Оснащення для деформування.
- 3 Свинцеві зразки.
- 4 Вимірювальний інструмент.

4.3 Порядок проведення роботи

- 1 Зробити осаджування заготовок на одну висоту h . Дані вимірів і розрахунків занести до табл.4.1, σ_s - за даними роботи №1.

Таблиця 4.1-Результати експериментів і розрахунків при відкритому видавлюванні заготівель

Розміри, мм				Досліджені дані			Розрахункові дані					
D	h	d	h	P(H)	Розміри, мм			Розміри, мм			Значення, МПа	
					D	P _{ср} (МПа)	l	P, (4.1)	D (4.6)	l (4.7)	P _{ср} (4.2)	P _{ср} , (4.3)

4.4 Зміст звіту

- 1 Назва, ціль і короткий опис загальних відомостей.
- 2 Схема процесу осаджування в кільцях.
- 3 Заповнені для всіх підгруп дані в табл.4.1.
- 4 Графіки залежностей:

$$\rho = f\left(\frac{h_0}{D_0}\right), \quad \rho = f\left(\frac{r}{R_0}\right);$$

- розрахункові дані всіх підгруп:

$$\begin{aligned} D &= f\left(\frac{h_0}{D_0}\right), & D &= f\left(\frac{r}{R_0}\right), & l &= f\left(\frac{h_0}{D_0}\right), \\ l &= f\left(\frac{r}{R_0}\right), & P &= f\left(\frac{h_0}{D_0}\right), & \rho &= f\left(\frac{r}{R_0}\right); \end{aligned}$$

- досліджені і розрахункові дані всіх підгруп.

5 Висновки з роботи.

4.5 Контрольні питання

- 1 Як впливають на положення межі розділу течії металу, контактне тертя, вихідні і кінцеві розміри заготовки, розміри отворів у плитах?
- 2 Як впливають величини контактного тертя, вихідних і кінцевих розмірів заготовок, діаметри отворів плит на обсяг видавленого в ці отвори металу?
- 3 Що є основною задачею технолога при розробці техпроцесу відкритого видавлювання?

5 Лабораторна робота № 5

Дослідження операцій видавлювання

Ціль роботи: вивчити вплив схеми напруженого стану на визначену формозміну і силові характеристики деформування.

5.1 Загальні відомості

Видавлювання (пресування чи екструджування) – один з процесів ОМД. При видавлюванні заготовка 1 міститься в контейнері 2 і під дією пуансона 3 відбувається витікання металу через отвір у матриці 4 за напрямком руху пуансона. Форма і розміри отвору визначають поперечний переріз видавленої ділянки деформованої заготовки.

Видавлювання характеризується яскраво вираженим осередком пластичної деформації. Використовуючи концепцію жорсткопластичного тіла, весь обсяг пластичної заготовки при видавлюванні можна розділити на три зони (рис.5.1).

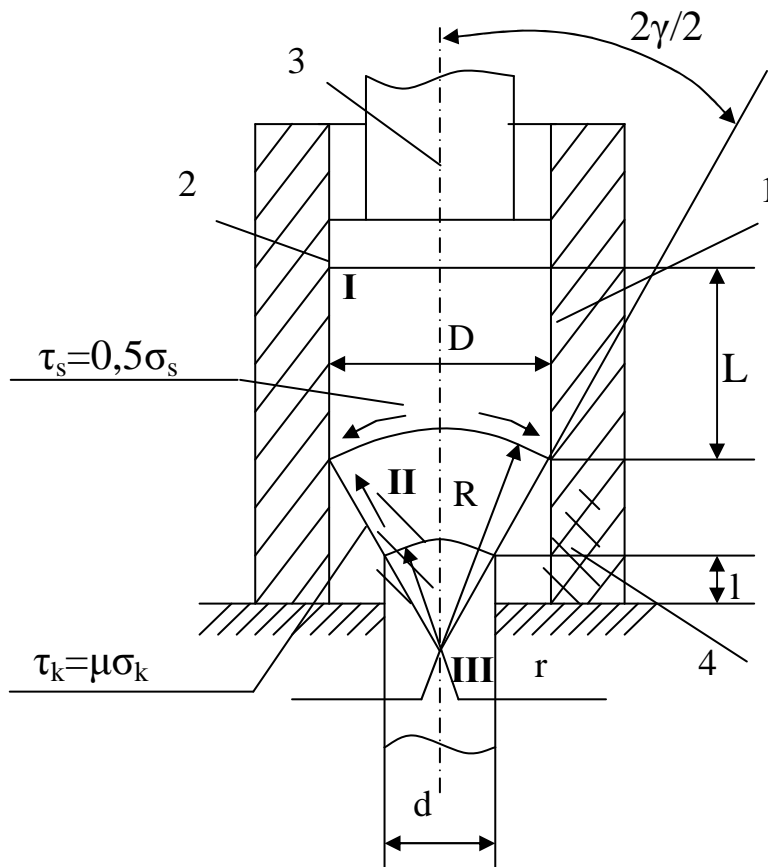


Рисунок 5.1 - Схема операції видавлювання

Зони I і III – жорсткі, у яких метал не деформується. Зона II – це пластична зона, що є осередком пластичної деформації. У осередка має місце об'ємна схема напруженого стану – усебічний нерівномірний стиск. Це забезпечує деформованому тілу високу пластичність. На границях осередка деформації з жорсткими зонами діють дотичні напруження зрушення $\tau_s = 0,5\sigma_s$, на контакті осередка деформації з кінцевою поверхнею матриці виникають дотичні контактні напруження $\tau_\sigma = \mu\sigma_k$.

Використовуючи для рішення задачі метод балансу робіт, знаходимо величину середнього питомого зусилля деформування:

$$P = \sigma_s \left[\left(1 + \frac{\mu + 0,5}{2\gamma} \right) \ln \frac{D^2}{d^2} + \frac{2L}{D} + \frac{4\mu l}{d} + \frac{\gamma}{2} \right]. \quad (5.1)$$

Вхідні в цю формулу компоненти враховують вплив наступних факторів:

- $\ln \left(\frac{D^2}{d^2} \right)$ - ступінь деформації;
- $\frac{\mu + 0,5}{2\gamma}$ - тертя на контакті вогнища деформації з конусною поверхнею матриці;
- $\frac{4\mu l}{D} = \frac{2L}{D}$ - контактне тертя в контейнері (при $\mu = 0,5$);
- $\frac{4\mu l}{d}$ - враховує контактне тертя в гравюрі матриці.

Як випливає з формули (5.1), зі збільшенням γ зростає вплив зрушених деформацій на межах жорстких зон і зменшується вплив сил тертя. З іншого боку, зі зменшенням γ збільшується вплив сил тертя (при заданому ступені деформації) і зменшується вплив зрушення. Оптимальне значення кута γ після диференціювання (5.1) визначається з вираження

$$\gamma = \sqrt{(\mu + 0,5) \ln \left(\frac{D^2}{d^2} \right)}. \quad (5.2)$$

Величину середнього питомого зусилля можна визначити, використовуючи рішення, отримані за допомогою інженерного методу теорії пластичності:

$$P = \sigma_s \frac{1 + \mu \operatorname{ctg} \gamma}{\mu \operatorname{ctg} \gamma} \left(\left(\frac{D^2}{d^2} \right)^{\mu \operatorname{ctg} \gamma} - 1 \right) e^{\frac{4\mu L}{D}}. \quad (5.3)$$

Аналіз вираження (5.3) показує, що воно не враховує ряд геометричних характеристик інструмента при видавлюванні, однак його поряд з формулою (5.1) можна застосовувати в розрахунках.

5.2 Матеріальне забезпечення

- 1 Испитова машина.
- 2 Оснастка для видавлювання.
- 3 Свинцеві зразки.
- 4 Вимірювальний інструмент.

5.3 Порядок проведення роботи

1 Зробити видавлювання заготовок до однієї величини L . Дані вимірів і розрахунків занести до табл. 5.1 (σ_s - за даними роботи №1).

Таблиця 5.1 - Результати вимірів і розрахунків при видавлюванні

D, мм	γ , рад	d, мм	l, мм	Р _{досл} (кН) при L, мм				Р _{роз} (кН)при L, мм							
				L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	(5.1)				(5.3)			
								L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄

5.4 Зміст звіту

- 1 Назва, ціль і короткий опис загальних зведень.
- 2 Ескіз схеми видавлювання.
- 3 Заповнені для всіх підгруп дані в табл.5.1.
- 4 Графіки залежності $P=f(L)$ - розрахункові й дослідженні дані для всіх підгруп.
- 5 Висновки з роботи.

5.5 Контрольні питання

- 1 Що розуміється під можливістю використання в процесах видавлювання високих ступенів деформування (деформації), які не приводять до руйнування металу?

- 2 Від яких параметрів залежить зусилля видавлювання?
- 3 Чим обмежується гранична деформація при видавлюванні?
- 4 Як впливає зміцнення металу на процес видавлювання, як його враховувати?

6 Лабораторна робота № 6

Дослідження процесу витяжки циліндричних заготовок

Ціль роботи: вивчити характер формозміни заготовок, вплив основних факторів процесу витяжки на силові характеристики деформування.

6.1 Загальні відомості

Витяжкою називається технологічний процес обробки тиском, при якому з плоскої заготовки може бути отримана деталь просторової форми. Витяжкою одержують вироби різноманітної форми – круглі, прямокутні, фасонні. У залежності від необхідної глибини і поперечних розмірів перетину витяжка може бути зроблена в одну чи кілька операцій. При витяжці вісесиметричних виробів найбільше часто використовують витяжку без притиску і з притиском. В останньому випадку одержують вироби з фланцем чи без фланця.

6.2 Витяжка без притиску

Застосовується для одержання невисоких ($H/D < 0,3$) деталей без фланця. Відносна товщина заготовок при цьому складає $S/D > 3,0-1,0$.

Процес витяжки характеризується наявністю на бічній поверхні заготовок радіальних розтягуючих і тангенціальних стискаючих напружень. Причому розтягуючі (радіальні) напруження, що убують від центра заготовок, на краю її вони дорівнюють нулю. Максимальної величини вони досягають у місці переходу від дна до стінки. Тангенціальні напруження стиску, що діють у фланці, можуть привести при малій відносній товщині заготовки до втрати стійкості,

тобто утворенню складок на фланці. Напруження стиску зростають від нуля у вертикальній стінці виробу і на краю фланця досягають максимуму (рис.6.1).

Значення діючих напруження за інших рівних умов тим більше, чим більше діаметр заготовки, що протягається через дану матрицю. Відношення діаметра виробу d до діаметра заготовки D характеризує ступінь формозміни при витяжці і зветься коефіцієнтом витяжки m .

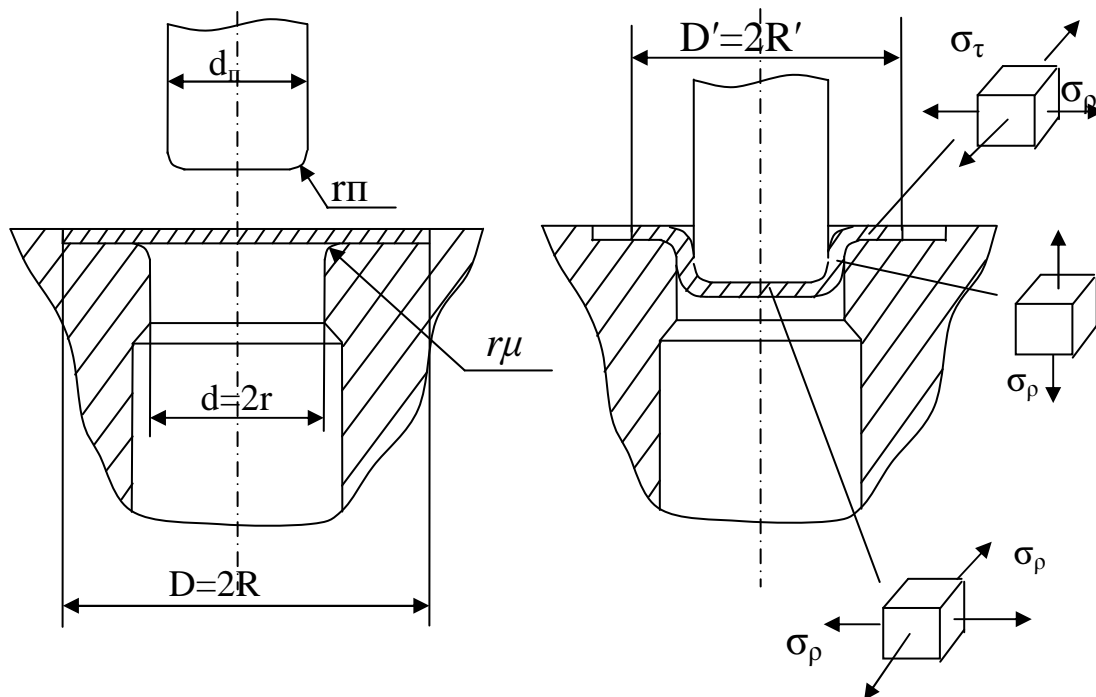


Рисунок 6.1 - Схема процесу витяжки без притиску

Значення m залежить від механічних властивостей матеріалу, відносних і абсолютних розмірів заготовки.

Зусилля при витяжці залежать від механічних властивостей матеріалу і його товщини, розміру виробу, коефіцієнта витяжки, коефіцієнта тертя між заготовкою й інструментом. Для визначення зусилля застосовують або теоретичні (6.1), або емпіричні (6.2) залежності.

$$P = \pi(d_n + S)S \left(\sigma_T \ln \frac{R}{r\mu} + \frac{S}{2r\mu + S} \sigma_B \right) (1 + 1,6\mu), \quad (6.1)$$

де μ - коефіцієнт контактного тертя;

$$P = \pi(d_n + S)S \left(\frac{D}{d} - \varphi_2 \right) \varphi_1 \varphi_3, \quad (6.2)$$

де $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – емпіричні коефіцієнти.

Значення φ_1 і φ_3 приведені в табл.6.1, $\varphi_3=1,02 \dots 1,1$.

Таблиця 6.1 - Значення механічних характеристик і емпіричних коефіцієнтів деяких матеріалів

Матеріал	σ_T , МПа	σ_B , МПа	φ_1	φ_2
Сплав АД1	70...90	120...150	0,75	0,96
-«-Д16	150...200	250...340		
Сталь 10	200	340	0,82	1,10
Сталь 20	250	420		
Латунь Л62	180	300	0,85	1,15...1,20
Латунь Л68	210	360		

6.3 Витяжка з притиском

Застосовується для одержання щодо високих ($\frac{H}{D} > 0,3$) виробів з відносно тонких ($\frac{S}{D} < 0,05$) заготовок.

Притиск використовується для виключення втрати стійкості при витяжці. Питомі зусилля притиску фланця на два порядки менше напружень текучості матеріалу заготовки, тому напружений стан матеріалу фланця при витяжці з притиском можна вважати таким же, як і при витяжці без притиску. Величину максимального зусилля витяжки з притиском можна визначити за емпіричною формулою, запропонованою Л.А. Шофманом:

$$P = \pi d S \sigma_s \left(\frac{D}{d + 2S} - 1 \right)^\epsilon, \quad (6.3)$$

де $\epsilon=1,2$ - при $\frac{S}{D} < 0,01$ $\frac{S}{D} < 0,01$ і $\epsilon=1$ при $\frac{S}{D} > 0,01$. Формула (6.3) не враховує значної кількості факторів, тому її можна прийняти для оціночних розрахунків. Більш точні значення величини зусилля витяжки можна одержати, використовуючи залежності, отримані з використанням теоретичних методів теорії пластичності.

А.Г. Огородніков запропонував наступну залежність:

$$P = 2\pi(d + S)S\sigma_s \left(\ln \frac{\sqrt{R^2 - 2R^1h}}{R^1} + \frac{\mu Q}{\pi S \sigma_s \sqrt{R^2 - 2R^1h}} + \frac{S}{2r\mu + S} \right) (1 + 1,6\mu), \quad (6.4)$$

де Q – зусилля притиску.

Е.А. Попов запропонував іншу залежність:

$$P = \pi(d + S)S\sigma_s \left[\left(\ln \frac{D}{d} \right) \frac{1}{1 - \psi_u} + \frac{2\mu Q}{\pi D S \sigma_s} + \frac{S}{2r\mu + S} \right] (1 + 1,6 \mu) , \quad (6.5)$$

де ψ_u – відносне звуження в момент утворення шейки.

6.4 Матеріальне забезпечення

- 1 Испитова машина.
- 2 Штамп для витяжки.
- 3 Зразки для штампування.
- 4 Вимірювальний інструмент.

6.5 Порядок проведення роботи

- 1 Зробити витяжку заготовок (без фланця – на провал, із фланцем – на одну висоту h). Дані вимірів і розрахунків занести до табл.6.2.

Таблиця 6.2 - Витяжка заготовок

Розміри, мм			Q, Н	Р _{дос} , кН	h, мм	Зусилля витяжки без фланця, без притиску (кН)				Зусилля витяжки з фланцем, із притиском (кН)		
D	d	S										
						(6.4)	(6.1)	(6.2)	(6.3)	(6.3)	(6.4)	(6.3)

6.6 Зміст звіту

- 1 Назва, ціль і короткий опис загальних відомостей.
- 2 Схема процесу витяжки.
- 3 Заповнена для всіх підгруп табл. 6.1.
- 4 Графіки залежності $P = f\left(\frac{d}{D}\right)$ для одного матеріалу.
- 5 Висновки з роботи.

6.7 Контрольні питання

- 1 В чому при витяжці без притиску можуть утворитися складки?
- 3 Які технологічні фактори впливають на значення коефіцієнта витяжки?
- 4 Які технологічні фактори впливають на зусилля при витяжці?
- 5 Що розуміється під стовщенням країв частини фланця?

Лабораторна робота № 7

Дослідження процесу вирубування листового матеріалу

Ціль роботи: вивчити характер деформування при вирубуванні, вплив основних факторів процесу на силові характеристики вирубуванні.

7.1 Загальні відомості

Вирубуванням називається процес одержання деталей шляхом відділення металу від заготовки по замкнутому контуру.

Процес вирубування складається з трьох стадій (рис. 7.1):

1 Стадія пружних деформацій, при якій напруження в металі не перевершують межі пружності. Протягом першої стадії відбувається

пружний стиск і вигин металу з легким видавлюванням його в отвір матриці.

2 Стадія пластичних деформацій, протягом якої метал видавлюється в отвір матриці із сильним вигином і розтяганням волокон. Напруження поблизу кромки, які ріжуть, досягає максимального значення, що відповідає опору металу зрізу.

Стадія сколювання, протягом якої в кромках матриці, що ріжуть, і пуансона утворюються мікро-, а потім макротріщини, спрямовані за лінією найбільших деформацій зрушення.

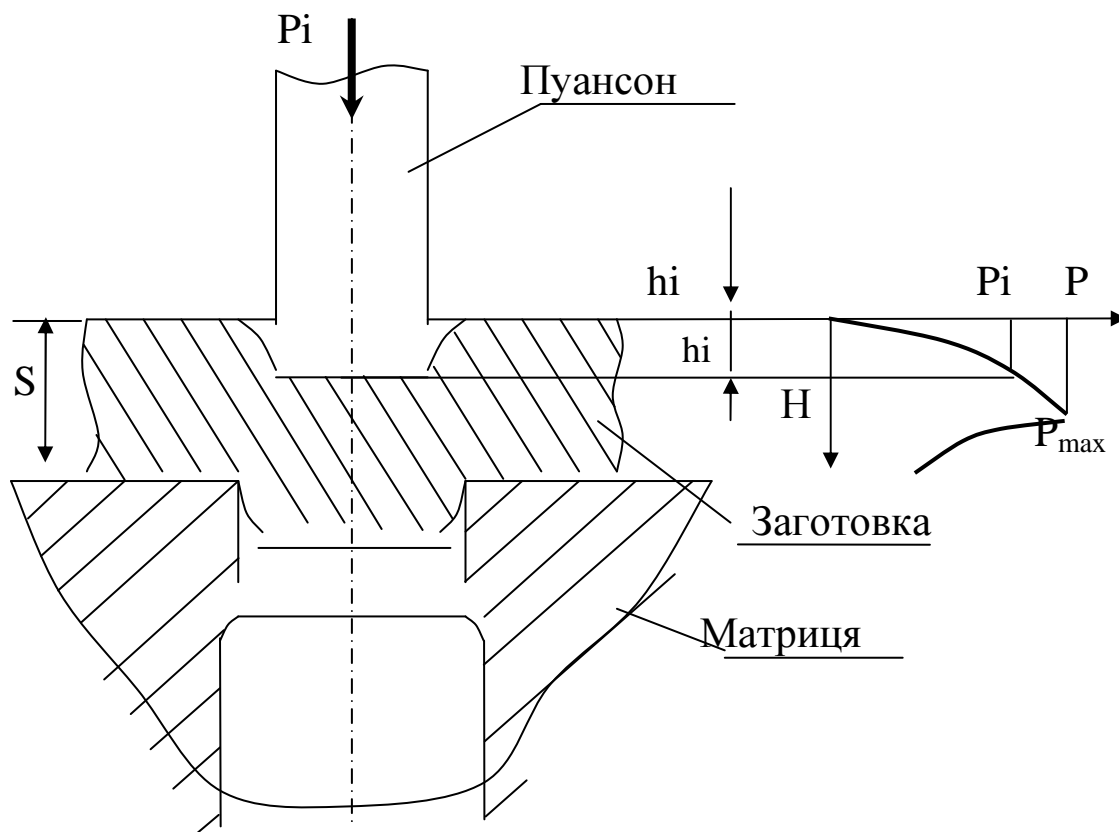


Рисунок 7.1 - Схема процесу вирубання

Оскільки процес вирубання супроводжується пластичною деформацією металу (змінанням, зрушенням, вигином, утяжкою)

поблизу крайок інструмента на виробках утвориться наклепана зона. Відповідно розвитку пружної і пластичної деформації змінюється зусилля вирубки P протягом робочого ходу пуансона h .

Зусилля вирубування залежить від механічних властивостей матеріалу (у тому числі його стану – наклепаний чи відпалений), величини зазору, форми і стану кромки інструмента, що ріжуть, товщини матеріалу.

Величину зусилля вирубування можна визначити за різними залежностями. Так, наприклад, Е.А. Попов пропонує визначати його за допомогою вираження

$$P = \sigma_y / 2 L S (1 - \psi) / (1 - \psi_{\text{ш}}) (\psi / \psi_{\text{ш}})^{\psi_{\text{ш}} / (1 - \psi_{\text{ш}})}, \quad (7.1)$$

де σ_y – межа міцності при розтяганні;

L – довжина контуру зрізу;

S – товщина листового матеріалу;

$\psi, \psi_{\text{ш}}$ – відношення зменшення площі поперечного перерізу матеріалу зразка при іспиті за розтягування в момент розриву й у момент утворення шейки.

М.В. Сторожев і Е.А. Попов пропонують визначати його по іншій залежності:

$$P = 0,58 \sigma_y L (S - h) / (1 - \psi_{\text{ш}}) (h / (S \psi_{\text{ш}}))^{\psi_{\text{ш}} / (1 - \psi_{\text{ш}})}, \quad (7.2)$$

де h – хід інструмента.

Дорівнявши нулю першу похідну (7.2): $(d/dh)=0$, можна знайти, що P_{max} відповідає $(h/S) = \psi_{\text{ш}}$,

$$\text{а } P_{\text{max}} = 0,58 S L \sigma_y \quad (7.3)$$

Формула (7.3) дає трохи занижене значення P_{max} у порівнянні з фактичним.

На практиці в технологічних розрахунках використовують залежність

$$P = K L S \sigma_{\text{ср}}, \quad (7.4)$$

де K – коефіцієнт, що враховує стан кромки, що ріжуть, нерівномірність зазору, відхилення в товщині металу і його властивостей,

$$K=1,2\dots 1,3;$$

σ_{cp} – поріг зрізу металу, звичайно приймають:

$$\sigma_{cp} = (0,6\dots 0,75)\sigma_y,$$

де σ_B - поріг міцності матеріалу, МПа.

7.2 Матеріальне забезпечення

- 1 Испитова машина.
- 2 Штамп для вирубання.
- 3 Зразки листового матеріалу для вирубання.
- 4 Вимірювальний інструмент.
- 5 Реверсний пристрій для розтягування.

7.3 Порядок проведення роботи

1 Використовуючи реверсний пристрій, зробити іспит вирубаних зразків матеріалу за розтягуванням. Дані вимірів і розрахунків занести до табл. 7.1.

Таблиця 7.1 - Результати вимірів і розрахунків при іспиті за розтягання зразків

Матеріал	Розміри перетину заготовки, мм						P_{max}	$\Psi_{ш}$	Ψ	σ_B
	B_0	A_0	l_0	$L_{розр}$ max	B розр max	A розр max	K_H	%	%	МПа

де $\Psi_{ш} = L_{p\ max} - l_0 / L_{p\ max}$; $\Psi = B_0 A_0 - B_{розр} A_{розр} / B_0 A_0$; $\sigma_B = P_{max} / A_0 B_0$.

2 Використовуючи штамп, зробити вирубання листового матеріалу. Дані вимірів і розрахунків занести до табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Результати вимірів і розрахунків при вирубуванні листового матеріалу

Матеріал заготівки	Розмір и, мм		Зусилля деформування, кН				
	D,	S,	$P_{\text{досл. при } h, \text{ мм}}$	$P_{\text{розр. при } h, \text{ мм}}$	$P_{\text{розр. при } h, \text{ мм}}$	$P_{\text{розр. при } h, \text{ мм}}$	$P_{\text{розр. при } h, \text{ мм}}$
				(7.2)	(7.1)	(7.3)	(7.4)

7.4 Зміст звіту

- 1 Назва, ціль і короткий опис загальних відомостей.
- 2 Схема процесу вирубування.
- 3 Заповнення табл. 7.1, 7.2 даними для всіх підгруп.
- 4 Графіки залежностей $P = f(h)$ – розрахункові й дослідженні дані всіх підгруп (з кожного матеріалу окремо).
- 5 Висновки з роботи.

7.5 Контрольні питання

- 1 Що називається вирубуванням листового матеріалу?
- 2 Основні стадії процесу вирубки.
- 3 Від яких основних технологічних факторів залежить зусилля вирубки?

Список рекомендованої літератури

- 1 Шофман Л.А. Основы расчета процессов штамповки и прессования.- М.:Машгиз, 1961. - 340 с.
- 2 Сторожев М.В. и др. Теория обработки металлов давлением/ М.В., Сторожев, Е.А. Попов .-М.: Высш. школа, 1971. – 424 с.
- 3 Унксов Е.Л., Инженерные методы расчета усилий при обработке металлов давлением. - М.: Машиностроение, 1959. - 480 с.
- 4 Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки: Учеб. пособие для вузов. - М.: Машиностроение, 1977. - 278 с.

Зміст

1 Лабораторна робота №1. Дослідження силових параметрів при осаджуванні вісесиметричних заготовок	3
2 Лабораторна робота № 2. Дослідження процесу прошивання циліндричних заготовок	7
3 Лабораторна робота № 3. Дослідження процесу осаджування прямокутних зразків	11
4 Лабораторна робота № 4. Дослідження процесу відкритого видавлювання	16
5 Лабораторна робота № 5. Дослідження операцій видавлювання	20
6 Лабораторна робота № 6. Дослідження процесу витяжки циліндричних заготовок	23
7 Лабораторна робота №7. Дослідження процесу вирубівання листового матеріалу	27
Список літератури, що рекомендується	30

Методичні вказівки

**до лабораторних робіт по дисципліні
“Теорія процесів кування і штампування”
(для студентів спеціальності 7.090404)**

Укладачі	Олександр Миколайович Ульянов, Іграмотдін Серажутдінович Алієв, Борис Омелянович Михайленко
Редактор	Ірина Іванівна Дьякова

Підп. до друку
Офсетний друк. Ум. друк. арк.
Тираж 100 прим. Зам. №

Формат 60x84/16.
Обл.-вид.арк

ДДМА. 84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72