

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Запорізька державна інженерна академія



Б.П. Серода
Ю.О. Белоконь

ТЕОРІЯ ПРОКАТКИ

Методичні вказівки до лабораторних робіт

*для студентів ЗДІА спеціальності 6.090404 «Обробка металів тиском»
денного і заочного відділень*

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Запорізька державна інженерна академія

ТЕОРІЯ ПРОКАТКИ

Методичні вказівки до лабораторних робіт

*для студентів ЗДІА спеціальності 6.090404 «Обробка металів тиском»
денного і заочного відділень*

*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри МОМ
протокол № 10 від 22.01.2013 р*

Запоріжжя
ЗДІА
2013

*Б.П. Серета, д.т.н., професор
Ю.О. Белоконь, к.т.н., доцент*

Відповідальний за випуск: *зав. кафедрою МОМ
професор, д.т.н Б.П. Серета*

Рецензенти:

Кругляк І.В., к.т.н., доцент Запорізької державної інженерної академії

УДК Б.П. Серета, Ю.О. Белоконь
Теорія прокатки: Методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів
ЗДІА спеціальності 6.090404 "Обробка металів тиском" / Б.П. Серета,
Ю.О. Белоконь. - Запоріжжя, ЗДІА, 2011. – 41 с.

Методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів ЗДІА спеціальності «Обробка металів тиском», які включають лабораторні роботи по курсу «Теорія прокатки». Дисципліна є базовою для подальшого вивчення технології процесів одержання сталевого прокату та виробів зі сталі. Це пов'язане з необхідністю підвищення якості металу.

ЗМІСТ

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт	4
Лабораторна робота № 1 Осередок деформації при прокатці та його параметри..	7
Лабораторна робота № 2 Умова сталості об'єму і коефіцієнти деформації при прокатці	13
Лабораторна робота № 3 Умови захвату штаби валками	19
Лабораторна робота № 4 Дослідження випередження при прокатці	24
Лабораторна робота № 5 Дослідження розширення під час прокатки	29
Лабораторна робота № 6 Дослідження сили прокатки	35
ЛІТЕРАТУРА	41

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

1. Перед початком роботи необхідно переконатися, що усі проходи біля обладнання, на якому виконуються роботи, вільні. Якщо площадка, або проходи біля обладнання зайняті сторонніми предметами (портфелями, сумками та ін.), які ускладнюють переміщення, їх треба прибрати до початку роботи.

2. Не слід надто близько підходити до працюючого обладнання і обпиратися на нього. Забороняється під час роботи відвертатися та займатися іншими справами, які не мають відношення до виконуваної роботи.

3. Забороняється знаходитись біля деталей, що обертаються (муфт, прокатних валків та ін.) в розстебнутому одязі, зі звисаючими кінцями шалей, шарфів, краваток та ін., а також з розпущеним волоссям.

4. Перед включенням кнопки «Пуск» необхідно переконатися, у тому, що всі деталі, які обертаються, закриті захисними засобами і включення агрегату не завдає небезпеки для присутніх, яких треба попередити про наступне включення.

5. Включати і виключати агрегати повинен тільки той студент, якому викладач доручив цю роботу. Під час перерви обладнання повинно бути зупинено. Після закінчення роботи обладнання повинно бути зупинено та знеструмлено.

6. Під час роботи на гідравлічному пресі та розривній машині всі операції, пов'язані з установкою зразків, бойків, інструменту для прошивки, пресування та волочіння, слід проводити, коли обладнання зупинено, тобто коли всі електромотори обладнання виключено.

7. При деформації зразків на гідравлічному пресі (або на розривній машині) слід усунути можливість вискакування в бік стискуваних зразків, а також підкладувального інструменту і деталей (підкладувальних бойків, прошивнів та ін.). Для цього необхідно виконувати такі вимоги:

7.1 Контактні поверхні бойків (плит) пресу повинні бути суворо паралельними.

7.2 Висота стиснутих зразків не повинна перевищувати їх діаметр більш ніж у 2,5 разів.

7.3 Довжина прошивнів не повинна перевищувати діаметр його п'яти більше ніж у 3 рази.

7.4 Зразки для деформації, а також використовуваний інструмент (підкладні бойки, прошивні, контейнери для пресування) слід розміщувати по центру нижньої плити (бойка) пресу.

7.5. Не допускати вдавлювання пришивню в контактну поверхню нижнього бойка.

7.6. Місця можливого виліту зразків (прошивнів) повинні бути обгороджені, а обслуговуючий персонал повинен знаходитись на відстані не ближче ніж на 2 метри від пресу.

7.7. Процеси осадки, прошивки, волочіння та пресування, металу слід вести без ривків і високих прискорень, плавно збільшуючи робоче навантаження.

8. Під час руху бойків пресу або розривної машини заборонено держати (чи придержувати) руками деформуючі зразки або підкладний інструмент (бойки, прошивні та ін.).

9. При роботі на розривній машині слід бути особливо обережним під час опускання рухомої траверси.

10. Щоб уникнути поломки обладнання заборонено виконувати деформацію зразків опусканням траверси верхнього бойка гідравлічного пресу, а також використовувати для цього привод нижнього захвату розривної машини.

11. При роботі зі зразками, які виготовлені зі свинцю, не обхідно пам'ятати, що свинець – отруйний метал, тому його не слід брати руками, якщо на них є незаживлені садні, дряпини.

Після роботи необхідно вимити руки. При додержанні цих засобів обережності робота з свинцем безпечна.

12. Після закінчення роботи вимірювальний інструмент слід здавати керівнику, а використовувані зразки зібрати у місцях, які вказані керівником роботи.

13. В лабораторії виконуються наукові дослідження, часто на тому ж обладнанні, що і лабораторні роботи. Тому без спеціальної вказівки заборонено торкати вимірювальну апаратуру та зразки, які не належать до виконуваної роботи, щоб не нанести шкоди дослідженням.

14. Під час проведення робіт суворо виконувати всі вимоги керівника.

ОСЕРЕДОК ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ПРОКАТЦІ ТА ЙОГО ПАРАМЕТРИ

Мета роботи: Визначити параметри осередку деформації при поздовжній прокатці.

Загальні відомості. *Осередком деформації* називається частина штаби, яка у цей момент часу піддається пластичній деформації. Подивимось на рис. 1.1. При спрощеному описі процесу прокатки за осередок деформації приймають область, обмежену перерізами AA' , BB' і дугами кіл валків AB , $A'B'$. Це так званий *геометричний* (ідеалізований) осередок деформації.

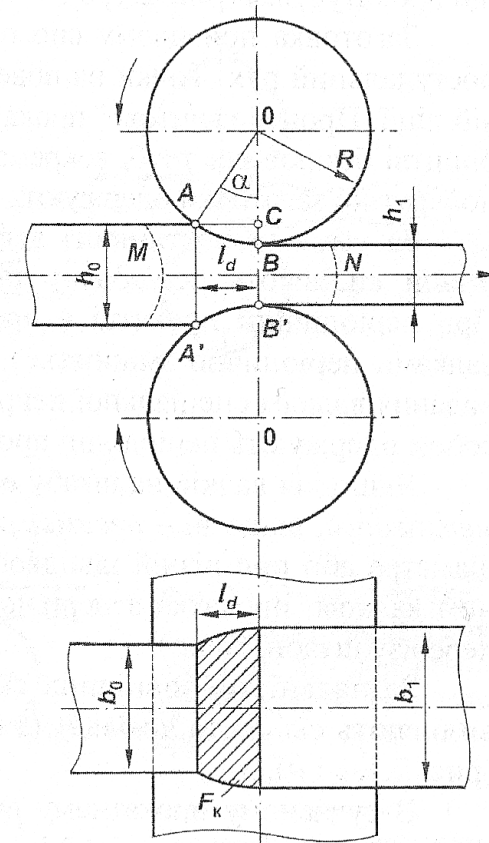


Рисунок 1.1 – Осередок деформації при прокатці

Експериментальні дослідження показують, що дійсні межі осередку деформації можуть не збігатися з перерізами AA' і BB' . Наприклад, пластична деформація може починатися на лінії M , а закінчуватися на лінії N . Область між лініями M і N – це *фізичний* (дійсний) осередок деформації. Довжина фізичного

осередку деформації більше, ніж геометричної. Частини штаби, що прилягають до осередку деформації, але не деформуються в цей момент часу, називаються *зовнішніми зонами або жорсткими кінцями*.

Під час прокатки зменшується товщина штаби від H_0 до h_1 , збільшується довжина від L_0 до l_1 і ширина від B_0 до b_1 . Зменшення товщини штаби називають *абсолютним отиском Δh* :

$$\Delta h = H_0 - h_1, \quad (1.1)$$

а збільшення ширини штаби – *розширенням Δb* :

$$\Delta b = b_1 - B_0, \quad (1.2)$$

індекси «0» позначають розміри штаби до прокатки, а «1» – після прокатки.

Розглянемо основні поняття, що стосуються геометричного осередку деформації. Дугу AB називають *дугою контакту* або *дугою захвату*, а відповідний їй центральний кут α – *кутом контакту* або *кутом захвату*. Горизонтальну проекцію дуги контакту (відрізок AC) приймають за *довжину осередку деформації l_d* . У нижній частині рис. 1.1 штрихуванням показана горизонтальна проекція поверхні торкання штаби з валками – *контактна поверхня F_k* .

Кут контакту металу з валками α – центральний кут, утворений двома радіусами валка, проведений із його центру до точок входу A та виходу B металу із валків. Величина кута α визначається із трикутника AOC :

$$\cos \alpha = \frac{OC}{OA} = \frac{R - \Delta h/2}{R} \quad (1.3)$$

Звідки:

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h}{D}\right) \quad (1.4)$$

де D – діаметр робочого валка.

Для розрахунку кута контакту можна використовувати наближену, але просту й зручну формулу:

$$\alpha = \sqrt{\Delta h/R}, \text{ рад.} \quad (1.5)$$

$$\alpha = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}, \text{ град} \quad (1.6)$$

де R – радіус робочого валка.

Точність наближеної формули (1.5) є цілком достатньою. Порівняльні розрахунки за формулами (1.4) і (1.5) показують, що навіть при дуже великих величинах кутів контакту (до $30 \div 35^\circ$) похибка обчислень за формулою (1.5) не перевищує $1,0 \div 1,5\%$.

Довжину осередку деформації l_d можна визначити із прямокутного трикутника AOC , звідки:

$$l_d = AC = \sqrt{(AC)^2 - (OC)^2} = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{\Delta h}{2}\right)^2} = \sqrt{R^2 - R^2 + 2R \frac{\Delta h}{2} - \frac{\Delta h^2}{4}} = \sqrt{R\Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}}$$

Зневаживши за малістю другим членом під коренем, в кінцевому вигляді отримують:

$$l_d = \sqrt{\Delta h R} \quad (1.7)$$

де R – радіус робочого валка.

Для розрахунку довжини осередку деформації можна використовувати формулу:

$$l_d = R \sin \alpha . \quad (1.8)$$

Площа контакту металу з валками F_k визначається з рисунку 1.1, звідки:

$$F_k = \frac{B_0 + b_1}{2} l_d \quad (1.9)$$

або

$$F_k = \frac{B_0 + b_1}{2} \sqrt{\Delta h R} \quad (1.10)$$

Інтенсивність деформації при прокатці листів і штаб визначають *відносим отиском* ε :

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H_0} \cdot 100\% , \quad (1.11)$$

а також *коефіцієнтом витяжки* μ :

$$\mu = \frac{F_0}{F_1} , \quad (1.12)$$

де F_0, F_1 – площа поперечного перетину штаби відповідно до і після проходу.

Важливою характеристикою геометричних умов деформації є відношення довжини осередку деформації до середньої товщини штаби: l_d/h_{cp} . Цей показник, називають *фактором форми* або *коефіцієнтом форми*.

Середню товщину штаби в осередку деформації зазвичай визначають як середньоарифметичну:

$$h_{cp} = \frac{(H_0 + h_1)}{2} \quad (1.13)$$

Вираз (1.13) є найпростішим, але не зовсім точним, тому що товщина штаби змінюється протягом осередку деформації не прямолінійно (не по хордах AB і $A'B'$), а по колу. Істинна середня товщина штаби в осередку деформації є трохи меншою за ту, що обчислюється за формулою (1.13). Якщо дугу кола замінити параболою, формула має вигляд:

$$h_{cp} = \frac{(H_0 + 2h_1)}{3} \quad (1.14)$$

Досить точне значення h_{cp} дає також формула:

$$h_{cp} = \sqrt{H_0 h_1} . \quad (1.15)$$

Параметр l_d/h_{cp} характеризує геометричні умови в поздовжньому перерізі осередку деформації. Для характеристики форми осередку деформації в плані служить відношення b_{cp}/l_d , де b_{cp} – середня ширина штаби в осередку деформації; іноді використовується відношення b_0/l_d .

Матеріали, інструмент, устаткування. Свинцій зразок прямокутної форми, розмірами 10x10x120 мм; двовалковий прокатний стан з діаметром валків 200 мм; штангенциркуль.

Порядок виконання роботи. Робота виконується на двовалковому стані з діаметром валків $D = 200$ мм.

Зразок із свинцю поперечного перерізу $H_0 \times B_0$ прокатується за 3 прохода з обтиском $\Delta h = 1-2-3$ мм. До і після кожного проходу вимірюються розміри поперечного перерізу зразка. Результати замірів заносяться в таблицю 1.1. Туди ж заносяться результати розрахунків по визначенню параметрів осередку деформації по вищенаведеним формулам.

Таблиця 1.1 – Параметри осередку деформації при прокатці

№ проходу	Розміри зразка				Площа перерізу		Коефіцієнти деформації				Параметри осередку деформації		F _k , мм ²
	H ₀ , мм	B ₀ , мм	h ₁ , мм	b ₁ , мм	F ₀ , мм ²	F ₁ , мм ²	Δh, мм	Δb, мм	ε, %	μ	l _d , мм	α, град	
1													
2													
3													

Зміст звіту. Виконати креслення зразка до деформації і після прокатки. Визначити параметри осередку деформації і коефіцієнти деформації. Заповнити таблицю 1.1. На підставі отриманих даних побудувати графіки $\alpha = f(\Delta h_i)$ і $\mu = f(\epsilon)$. Робота закінчується складанням висновків.

Контрольні питання:

- 1) Що називається осередком деформації? У чому полягає різниця між геометричним та фізичним осередком деформації при прокатці?
- 2) Наведіть визначення основних параметрів осередку деформації при прокатці: кут захвату; дуга контакту; абсолютне та відносне обтиснення; коефіцієнт витяжки.
- 3) Що таке фактор форми осередку деформації і як його визначають?
- 4) Наведіть всі показники, що характеризують поперечну деформацію штаби і поясніть їх сенс.

УМОВА СТАЛОСТІ ОБ'ЄМУ І КОЕФІЦІЄНТИ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ПРОКАТЦІ

Мета роботи: Дослідним шляхом підтвердити умову постійності об'єму під час прокатки.

Загальні відомості. У процесі прокатки змінюються лінійні розміри штаби – висота (товщина), ширина та довжина. Розглянемо систему показників, які характеризують величину деформації в кожному із цих напрямків.

Висотна деформація. Зміна висоти (товщини) штаби характеризується величиною абсолютного і відносного обтиснення. *Абсолютне обтиснення становить:*

$$\Delta h = H_0 - h_1. \quad (2.1)$$

Відносне обтиснення може бути визначено з різним ступенем точності. *Дійсне відносне обтиснення* визначається за формулою:

$$e_h = \ln(H_0/h_1). \quad (2.2)$$

У механіці твердого тіла прийнято дещо інше визначення e_h , а саме як логарифм відношення кінцевої висоти до початкової. Проте у теорії та практиці обробки металів тиском прийнято визначення e_h за формулою (2.2), щоб у розрахунках оперувати позитивними величинами.

Обчислення величини e_h , є трохи незручним, тому що вимагає логарифмування. Тому часто користуються величиною *умовного відносного обтиснення*:

$$\varepsilon = \frac{(H_0 - h_1)}{H_0} = \frac{\Delta h}{H_0}. \quad (2.3)$$

Відносне обтиснення визначають у частках одиниці або у відсотках; в останньому випадку результати розрахунків за формулою (2.3) множать на 100.

Крім величин Δh , e_h , ε показником висотної деформації служить коефіцієнт обтиснення:

$$\eta = \frac{h_1}{H_0}. \quad (2.4)$$

Оскільки η менше одиниці, у розрахунках іноді зручно користуватися зворотною величиною $1/\eta = H_0/h_1$.

Поперечна деформація. Зміна поперечних розмірів штаби називається *розширенням*. Показники розширення за змістом аналогічні показникам висотної деформації.

Абсолютне розширення становить:

$$\Delta b = b_1 - B_0. \quad (2.5)$$

Істинне відносне розширення:

$$e_b = \ln(h_1/H_0). \quad (2.6)$$

Умовне відносне розширення:

$$\xi = \frac{(b_1 - B_0)}{B_0} = \frac{\Delta b}{B_0}. \quad (2.7)$$

Коефіцієнт розширення:

$$\beta = \frac{b_1}{B_0}. \quad (2.8)$$

Величину поперечної деформації також характеризують відношенням абсолютного розширення до абсолютного обтиснення:

$$a = \frac{\Delta b}{\Delta h}. \quad (2.9)$$

Цю величину називають *показником розширення*.

Поздовжня деформація. Абсолютне подовження штаби становить:

$$\Delta l = l_1 - L_0. \quad (2.10)$$

Істинне відносне подовження:

$$e_l = \ln(l_1/L_0). \quad (2.11)$$

Умовне відносне подовження:

$$\theta = \frac{(l_1 - L_0)}{L_0} = \frac{\Delta l}{L_0}. \quad (2.12)$$

Слід зазначити, що величини Δl , e_l , θ рідко застосовуються на практиці для характеристики поздовжньої деформації. Разом з тим широко використовується показник, названий *коефіцієнтом витяжки*:

$$\mu = l_1/L_0 \quad (2.13)$$

Коефіцієнт витяжки характеризує не тільки зміну довжини штаби, але й зміну площі її поперечного перерізу. Дійсно, з умови сталості об'єму маємо $F_0 L_0 = F_1 l_1$ звідки випливає $l_1/L_0 = F_1/F_0$.

Таким чином, коефіцієнт витяжки можна визначити також за співвідношенням площ поперечного перерізу штаби до і після прокатки:

$$\mu = \frac{F_0}{F_1}. \quad (2.14)$$

Якщо технологічний процес включає кілька проходів штаби через валки, що буває майже завжди, то розрізняють *поодинокі* або *часткові коефіцієнти витяжки* (у кожному проході) та *загальний коефіцієнт витяжки*.

Взаємозв'язок деформацій. Коефіцієнти деформації в трьох основних напрямках зв'язані між собою умовою сталості об'єму металу. Так, для прямокутної штаби маємо $H_0 B_0 L_0 = h_1 b_1 l_1$, звідки випливає:

$$\frac{h_1}{H_0} \cdot \frac{b_1}{B_0} \cdot \frac{l_1}{L_0} = \eta \cdot \beta \cdot \mu = 1. \quad (2.15)$$

Таким чином, добуток коефіцієнтів обтиснення, розширення та витяжки повинен дорівнювати одиниці. У протилежному випадку порушується умова сталості об'єму.

Логарифмуючи вираз (2.15), одержимо:

$$\ln \frac{h_1}{H_0} + \ln \frac{b_1}{B_0} + \ln \frac{l_1}{L_0} = 0, \quad (2.16)$$

або

$$e_h + e_b + e_l = 0. \quad (2.17)$$

У цьому випадку e_h обчислюється як $\ln(h_1/h_0)$, що дозволяє виключити штучну зміну знаку показника.

Сума дійсних відносних деформацій по трьох основних напрямках (з урахуванням знака) дорівнює нулю. Вираз (2.17) є умовою сталості об'єму, записаною відносно деформації. Знаки перед членами формули (2.17) показують, що по висоті штаби відбувається зменшення, а по інших напрямках – збільшення розмірів.

Матеріали, інструмент, устаткування. Свинцій зразок прямокутної форми, розмірами 10x10x120 мм; двовалковий прокатний стан з діаметром валків 200 мм; штангенциркуль.

Порядок виконання роботи. Робота виконується на двовалковому стані з діаметром валків $D = 200$ мм.

Відлитий зразок форми паралелепіпеду попередньо прокатують з отиском 1 мм, потім на його верхній грані наводять дві риски з відстанню поміж ними 100 мм, яке приймають за L_0 . Вимірюють товщину і ширину штаби і занотовують у таблицю 2.1. Прокативають зразок послідовно в три прохода з отиском за кожний прохід 1-2 мм. Після кожного проходу вимірюють товщину, ширину і довжину зразка. Результати замірів заносяться в таблицю 2.1. Туди ж заносяться результати розрахунків по визначенню коефіцієнтів деформації по вищенаведеним формулам.

Таблиця 2.1 – Перевірка умови сталості об'єму металу при прокатці

№ проходу	Розміри зразка						Коефіцієнти деформації			Добуток $\eta \cdot \beta \cdot \mu$
	H_0 , мм	B_0 , мм	L_0 , мм	h_1 , мм	b_1 , мм	l_1 , мм	η	β	μ	
1										
2										
3										

Зміст звіту. Виконати креслення зразка до деформації і після прокатки. Визначити коефіцієнти деформації для кожного проходу та за формулою (2.15) перевірити умову сталості об'єму. Заповнити таблицю 2.1. На підставі отриманих даних побудувати графіки $\mu = f(1/\eta)$ та $\beta = f(1/\eta)$. Робота закінчується складанням висновків.

Контрольні питання.

- 1) В чому полягає сутність умови сталості об'єму металу при ОМТ?
- 2) Які коефіцієнти деформації розрізняють під час прокатки? Чим відрізняється коефіцієнт обтиску від коефіцієнтів розширення і витяжки?
- 3) За якими параметрами визначають коефіцієнт витяжки металу? Чи можлива прокатка при коефіцієнті витяжки, який дорівнює або менше 1?
- 4) Чому дорівнює сума трьох дійсних відносних деформацій при прокатці, узятих по трьом головним вісям (напрямам)? З допомогою якої умови доводиться це положення?

УМОВИ ЗАХВАТУ ШТАБИ ВАЛКАМИ

Мета роботи: Визначити максимальні кути захвату і коефіцієнта тертя в початковий момент захвату штаби і при усталеному процесі прокатки.

Загальні відомості. Здійснення процесу прокатки обмежено співвідношенням сили, необхідної для деформації штаби та сил тертя, що діють з боку валків на штабу. Розглянемо умови початку процесу прокатки – захвату штаби валками.

Якщо заштовхуюча сила Q , за допомогою якої штаба підводиться до валків, є малою і не викликає значного змінання крайок, захоплення називається *вільним* або *природним*. Таке захоплення найчастіше зустрічається на практиці.

У точках дотику (рис. 3.1) з боку валків на штабу діють сили нормального тиску N та сили тертя T . Сили тертя прагнуть затягнути штабу до зеву валків, а сили нормального тиску перешкоджають цьому. Для здійснення захоплення необхідно, щоб горизонтальні складові сил тертя T_f були більшими за горизонтальні складові сил нормального тиску N_x або дорівнювали їм. Математично ця умова може бути представлена у такому вигляді:

$$N_x \leq T_{fx}. \quad (3.1)$$

Зі схеми сил на рис. 3.1 знаходимо:

$$N_x = N \sin \alpha_3; \quad (3.2)$$

$$T_{fx} = T_f \cos \alpha_3. \quad (3.3)$$

Використаємо умову тертя Амонтона:

$$T_f = f_3 N, \quad (3.4)$$

де f_3 – коефіцієнт тертя при ковзанні крайок штаби по валках, називаний у подальшому *коефіцієнтом тертя при захваті*. Тоді одержимо:

$$T_{fx} = f_3 N \cos \alpha_3. \quad (3.5)$$

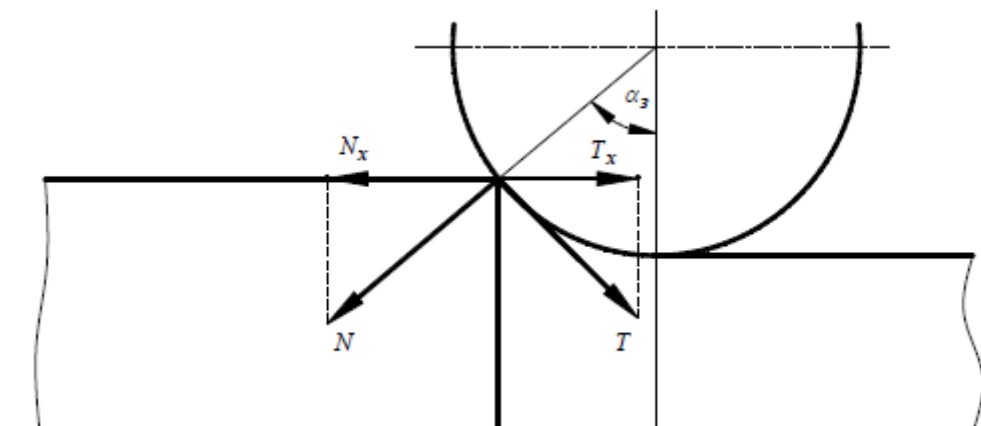


Рисунок 3.1 – Схема сил, що діють в початковий момент захвату

Умова (3.1) прийме вид:

$$N \sin \alpha_3 \leq f_3 N \cos \alpha_3. \quad (3.6)$$

Розділивши ліву та праву частини цього виразу на $N \cos \alpha_3$, одержимо:

$$\operatorname{tg} \alpha_3 \leq f_3. \quad (3.7)$$

Формула (3.7) є умовою вільного початкового захвату: щоб відбулося захоплення штаби валками, тангенс кута захвату повинен бути меншим за коефіцієнт тертя при захопленні або, принаймні, дорівнювати йому.

Часто умову захвату виражають у трохи іншому, ще більш простому вигляді. Оскільки $f_3 = tg\beta_3$, де β_3 – кут тертя при захваті, замість формули (3.7) можна написати $tg\alpha_3 < tg\beta_3$; отже,

$$\alpha_3 \leq \beta_3. \quad (3.8)$$

Таким чином, щоб відбулося захоплення штаби валками, кут захвату повинний бути меншим або рівним куту тертя. Гранична величина, кута захвату цілком залежить від величини коефіцієнта тертя f_3 . Чим більшим є коефіцієнт тертя, тим вищою є захоплювальна здатність валків.

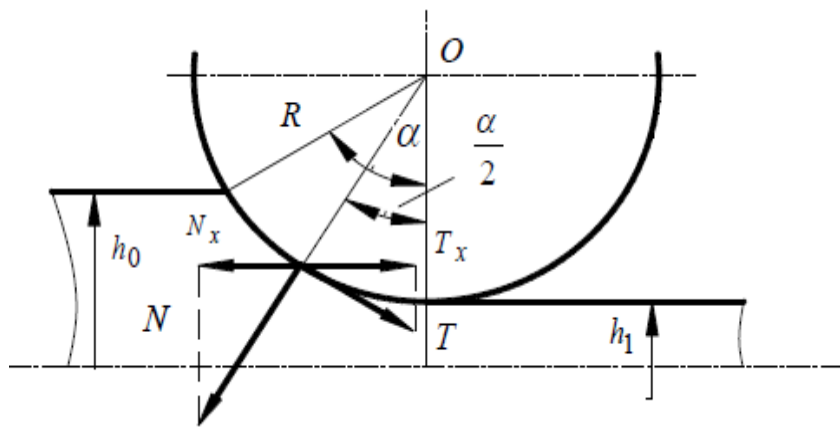


Рисунок 3.2 – Сили, що діють при сталому процесі прокатки

Максимальне значення кута захвату визначають з рівняння:

$$\alpha_3 = \beta_3 \quad (3.9)$$

Рівнянн (3.9) представляє собою граничну умову вільного захвату у початковий момент контакту штаби з валками.

Максимальний кут захвату знаходимо з формули:

$$\alpha_3 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_3}{2R}\right) \quad (3.10)$$

де Δh_3 – максимальний обтиск при вільному захваті (визначається з експерименту).

Матеріали, інструмент, устаткування. Свинцові зразки прямокутної та клиновидної форми, розмірами 15x25 мм; двовалковий прокатний стан з діаметром валків 100 або 200 мм; штангенциркуль. Технологічне мастило – мінеральна олія И-20, П-28 або Ц-52.

Порядок виконання роботи. Робота виконується на двовалковому стані з діаметром валків $D = 100$ або 200 мм.

Підготувати зразок, який має форму паралелепіпеда (наприклад 15x25мм); виміряти його ширину, товщину; очистити його поверхню від залишків мастил ацетоном. На стані встановити валки з незначним зазором, виміряти їх діаметр, очистити поверхню валків. Включити привід стану. За допомогою дерев'яного брусочка злегка притиснути зразок до валків, щоб забезпечити контакт металу з обома валками. Далі, притискуючи зразок до валків, що обертаються, поступово збільшувати зазор між валками за допомогою натискного механізму до моменту, поки не відбудеться захват металу валками. Виміряти товщину зразка після прокатки і результати досліду занести до таблиці.

Підготувати клиновий зразок. Встановити зазор між валками приблизно 1 мм, очистити поверхню валків. Включити привід стану і задати зразок у валки тонким краєм. Як тільки зразок зупиниться у валках: відключити привід, збільшити зазор між валками й видалити зразок з стану. Виміряти товщину прокатної частини зразка – це буде кінцева товщина. По відтиску на зразку виміряти максимальну товщину зразка, яку вдалося прокатувати. Результати вимірів занести до таблиці.

Повторити моделювання умов початкового захвату та сталого процесу для умов застосування мастильних речовин, які слід наносити на валки рівномірним шаром.

Виконати розрахунки кутів захвату та тертя, коефіцієнтів тертя.

Порівняти коефіцієнти тертя для сталого процесу та умов захвату, визначити їх відношення f_y / f_z . Так саме визначити f_y / f_z для дослідів мастильних речовин. Оцінити ефективність мастила.

Таблиця 3.1 – Результати дослідів

Умови дослідів	Геометричні параметри				Розрахункові параметри			
	H_0 мм	h_1 мм	h_{max} мм	α град	β град	f	$\frac{\alpha_{y\ max}}{\alpha_{\zeta\ max}}$	$\frac{f_y}{f_{\zeta}}$

Зміст звіту. Оформити звіт по роботі, де навести коротку характеристику стану, розмір та стан поверхні його валків, умови проведення дослідів. Заповнити таблицю 3.1, виконати необхідні розрахунки. Пояснити відмінність кутів захвату та коефіцієнтів тертя для різних стадій процесу прокатування.

Контрольні запитання:

- 1) Як розраховують кут захвату?
- 2) Особливості стадій процесу прокатування?
- 3) Як визначають коефіцієнт тертя згідно з законом Кулона?
- 4) Як співвідносяться кути захвату в початковий момент та при сталому процесі прокатки? Які заходи необхідно здійснити для збільшення кута захвату?

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПЕРЕДЖЕННЯ ПРИ ПРОКАТЦІ

Мета роботи: дослідити залежність випередження металу під час прокатки від абсолютного отиску.

Загальні відомості. При обтисненні штаби по висоті частки металу змушені перемішуватися в поздовжньому напрямку. При цьому певна кількість металу видавлюється вперед за ходом прокатки; швидкість цих часток, одержана в результаті деформації, підсумовується з коловою швидкістю валків. Інша частина зміщеного об'єму металу відтискується назад, проти ходу прокатки; швидкість цих часток віднімається від колової швидкості валків. Таким чином, в осередку деформації утворюються дві області: *зона випередження*, де швидкість штаби є більшою за колову швидкість валків, та *зона відставання*, де співвідношення швидкостей є зворотним.

Між зонами випередження та відставання є переріз, де швидкості валків та штаби є однаковими. Це так званий *нейтральний* або *критичний переріз*. Його положення в осередку деформації характеризується величиною *нейтрального* або *критичного кута* γ .

Поздовжня течія металу в осередку деформації під час прокатки характеризується наявністю випередження і відставання. *Випередженням* називається величина, що показує, наскільки швидкість, виходу штаби з валків більше колової швидкості валків.

Випередження S розраховують за формулою:

$$S = \frac{v_1 - v_B}{v_b} . \quad (4.1)$$

Випередження частіше визначають у відсотках:

$$S = \frac{v_1 - v_B}{v_b} \cdot 100\% . \quad (4.2)$$

Якщо на валки нанести кернові позначки з відстанню поміж ними L_B , то на прокатаній штабі отримаємо відбитки цих позначок поміж ними – $L_{ш}$.

Вимірявши відстані L_B і $L_{ш}$ визначають випередження керновим методом (рис. 4.1):

$$S = \frac{L_{ш} - L_B}{L_B} \quad (4.3)$$

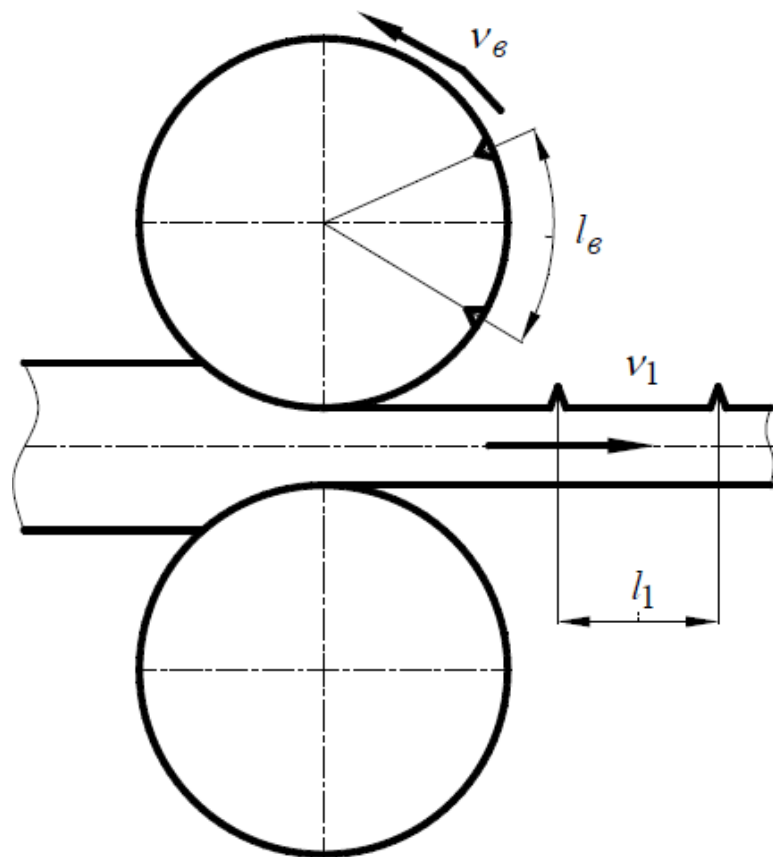


Рисунок 4.1 – Кернові відбитки на валку та штабі

Якщо випередження S є величиною заданою, швидкість виходу штаби з валків визначають так:

$$v_1 = v_B(1 + S). \quad (4.3)$$

Величина, названа *відставанням*, характеризує співвідношення швидкостей штаби та валків *на вході в осередок деформації*. Цей термін підкреслює, що швидкість руху заднього кінця штаби менша за колову швидкість валків (точніше, є меншою за горизонтальну проекцію швидкості валків у перерізі входу).

Відставання $S_{від}$ розраховують за формулою:

$$S_{від} = \frac{v_B \cos\alpha - v_0}{v_B} . \quad (4.4)$$

Випередження та відставання величини взаємозалежні. Знаючи одну з них, можна визначити іншу:

$$S_{від} = 1 - \frac{1+S}{\lambda \cos\alpha} . \quad (4.5)$$

Численні дослідження свідчать про те, що в більшості випадків прокатки випередження знаходиться в межах 1÷10%, тобто його чисельне значення невелике. Що ж стосується відставання, то воно може становити 20÷10% і більше.

Випередження можна знайти теоретично, розглянувши зміну швидкостей металу в осередку деформації, використовуючи закон сталості секундних об'ємів і прийнявши, що поширення відсутнє (формула С. Фінка):

$$S = (1 - \cos\gamma) \left(\frac{D}{h_1} \cos\gamma - 1 \right) . \quad (4.6)$$

Якщо прийняти $\cos\gamma \approx 1 - \gamma^2/2$, одержимо формулу С. Екелунда:

$$S = \frac{\gamma^2}{2} \left(\frac{D}{h_1} - 1 \right) . \quad (4.7)$$

У багатьох випадках, особливо при прокатці тонких штаб, $D/h \gg 1$. Тоді одержимо спрощену формулу Головіна-Дрездена:

$$S = \frac{\gamma^2 R}{h_1}. \quad (4.8)$$

де R – радіус валків, мм;

γ – кут нейтрального перерізу в осередку деформації, рад;

h_1 – товщина штаби після прокатки, мм

Кут γ визначають за формулою трьох кутів Екелунда-Павлова:

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right) \quad (4.9)$$

де α визначається за формулою (1.5), а кут тертя

$$\beta = \arctg f_y, \quad (4.10)$$

де коефіцієнт тертя $f_y = 0,20$.

Матеріали, інструмент, устаткування. Три свинцеві зразки прямокутної форми, розмірами 5x10x120 мм; двовалковий прокатний стан з діаметром валків 100 мм; штангенциркуль.

Порядок виконання роботи. Робота виконується на двовалковому стані з діаметром валків $D = 100$ мм.

На верхньому валку мають бути нанесені кернові позначки з відстанню поміж ними $L_B = \dots$ мм. Три свинцеві зразки товщиною $H_0 = 5$ мм (вимірити точне значення H_0) прокатуються кожен за один прохід з наростаючими обтисками: 1 – $\Delta h = 1,5$ мм; 2 – $\Delta h = 2,0$ мм; 3 – $\Delta h = 2,5$ мм.

Після прокатки вимірюється товщина зразків h_1 і відстань поміж відбиткам $L_{ш}$. Результати замірів заносяться до таблиці 4.1. Туди ж заносяться

результати розрахунків величини кутів α і γ і випередження за формулами (4.3), (4.6) і (4.8).

Таблиця 4.1 – Дослідні і розрахункові величини по дослідженню випередження металу під час прокатки

№ досліду	Розміри, мм				Параметри прокатки			Випередження, %		
	H_0	h_1	L_B	L_{III}	Δh	α	γ	(4.3)	(4.6)	(4.8)

Зміст звіту. Виконати креслення зразка до деформації і після прокатки. Визначити параметри прокатки для кожного проходу та за формулами (4.3), (4.6) і (4.8) знайти випередження. Заповнити таблицю 4.1. На підставі отриманих даних побудувати графіки $S = f(\Delta h)$ та $S = f(\alpha)$ відповідно для формул (4.3), (4.6) і (4.8). По графікам зробити висновки, а також указати і визначити ступень розбіжностей поміж експериментальним і теоретичним значенням випередження.

Контрольні питання:

- 1) Пояснити суть випередження та відставання металу в процесі прокатки. Чому в осередку деформації виникають зони випередження та відставання?
- 2) Яким чином керновим методом визначається випередження?
- 3) Від яких факторів прокатки залежить випередження за формулою Головіна-Дрездена?
- 4) Яке співвідношення швидкостей металу відносно колової швидкості валків по зонам осередку деформації? Що таке критичний переріз осередку деформації?

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗШИРЕННЯ МЕТАЛУ ПІД ЧАС ПРОКАТКИ

Мета роботи: дослідним шляхом визначити залежність розширення від головних факторів процесу прокатки.

Загальні відомості. Для практики важливо знати повне розширення Δb , якого набуває штаба при проходженні через валки. Це має велике значення при прокатці в калібрах, тому що неправильне урахування розширення може призвести або до переповнення, або до незаповнення калібру. Якщо поперечному плинну металу в осередку деформації перешкоджають тільки сили тертя на контактній поверхні, розширення називається *вільним*. Таке розширення має місце при прокатці в циліндричних некаліброваних валках. При прокатці в калібрах поперечному переміщенню металу перешкоджають тією чи іншою мірою бічні стінки калібру; у цьому випадку розширення є *обмеженим*. Існує також поняття про *вимушене* розширення, що спостерігається в тих випадках прокатки, коли обтиснення розподіляється нерівномірно по ширині штаби.

Співвідношення між поперечною та поздовжньою деформаціями залежить від опорів переміщенню металу в цих напрямках. При вільному розширенні опір створюється дією сил тертя. Якщо з якої-небудь причини в осередку деформації зростають підпираючі поздовжні сили тертя, це призводить до зниження витяжки та збільшення розширення. І навпаки, якщо зростають поперечні сили тертя, розширення зменшується, а витяжка збільшується.

Проаналізуємо вплив окремих факторів прокатки на розширення.

Обтиснення. З ростом обтиснення розширення збільшується. Це пояснюється, по-перше, тим, що збільшується об'єм металу, який зміщується як у поздовжньому, так і в поперечному напрямку. По-друге, зростає довжина осередку деформації, а це значить, що зростає сума поздовжніх підпираючих сил тертя, які утруднюють витяжку; останнє сприяє росту розширення.

Діаметр валків. При збільшенні діаметра розширення зростає за інших рівних умов. Це також пояснюється збільшенням довжини осередку деформації та відповідним зростанням суми поздовжніх підпираючих сил тертя.

Ширина штаби. Чим ширшою є штаба, яка прокатується, тим більшою є сума підпираючих поперечних сил тертя на контактній поверхні. Отже, зі збільшенням ширини штаби розширення зменшується. З практики добре відомо, що при прокатці широких штаб та листів розширення є незначним.

В галузі прокатки дуже вузьких штаб абсолютне розширення падає при зменшенні ширини штаби, але це пов'язано із різким скороченням об'єму металу, що зміщується. Якщо побудувати графік зміни відносного розширення, буде видно, що воно монотонно зменшується, починаючи з найменших значень b_0 .

Коефіцієнт тертя. Зі збільшенням коефіцієнта тертя зростають як поздовжні, так і поперечні підпираючі сили тертя. Однак треба враховувати, що метал тече головним чином у поздовжньому напрямку. Зростання гальмуючої дії сил тертя в поздовжньому напрямку впливає на розподіл деформацій більш суттєво, ніж зростанням поперечних сил тертя. У результаті зі збільшенням коефіцієнта тертя витяжка зменшується, а розширення зростає. Через коефіцієнт тертя на розширення впливають багато факторів: стан поверхні валків, температура металу, швидкість прокатки та ін.

Поздовжнє натяжіння на кінцях штаби. Якщо до кінців штаби прикладені розтягаючі сили, вони полегшують поздовжній плин металу, тобто сприяють витяжці. У першому наближенні можна вважати, що розширення зменшується пропорційно величині прикладеного натяжіння. Заднє натяжіння впливає на розширення набагато сильніше, ніж переднє натяжіння. Це пояснюється тим, що заднє натяжіння впливає на зону відставання, де відбувається основна деформація.

Форма калібрів. У більшості випадків при прокатці в калібрах розширення виходить меншим, ніж при прокатці в циліндричних валках (при тій самій висотній деформації), тому що бічні стінки калібру створюють

додатковий опір поперечному плину металу. Ступінь обмеження розширення залежить від кута нахилу бічних стінок калібру та від співвідношення між шириною калібру і шириною штаби, яка задається до калібру.

В літературі по теорії прокатки рекомендується використання кількох десятків формул для визначення розширення. Шляхом обробки експериментальних даних (емпірично) отримано такі відомі формули для розрахунку розширення:

1) С.І. Губкіна:

$$\Delta b = (1 + \Delta h/h_0)(f_y \sqrt{R\Delta h} - \Delta h/2) \Delta h/h_0. \quad (5.1)$$

2) О.П. Чекмарьова:

$$\Delta b = \frac{2\Delta h b_{cp}}{(h_0 + h_1) \left[1 + (1 + \alpha) \left(\frac{b_{cp}}{R\alpha} \right)^n \frac{h_0 + h_1}{2h_1(1 + f_y R\alpha / b_{cp})} \right]}. \quad (5.2)$$

або

$$\Delta b = \frac{2\Delta h b_{cp}}{(h_0 + h_1) \left[1 + (1 + \alpha) \left(\frac{b_{cp}}{R\alpha} \right)^n \right]}. \quad (5.3)$$

де n - показник, який залежить від форми осередку деформації в плані.

Приймають $n=1$ при $b_{cp} < R\alpha$ та $n=2$ при $b_{cp} > R\alpha$.

Практично в розрахунках приймають $b_{cp} \approx b_0$ або $b_{cp} = b_1$ (останнє у випадку визначення розмірів штаби проти ходу прокатки).

Існує ряд формул для розрахунку розширення, одержаних теоретично:

3) Б.П. Бахтінова:

$$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2h_0} \left(\sqrt{R\Delta h} - \frac{\Delta h}{2f_y} \right). \quad (5.4)$$

4) О.І. Целікова та О.І. Гришкова:

$$\Delta b = 0,5C_b C_\sigma \left(\sqrt{R\Delta h} - \frac{\Delta h}{2f_y} \right) \ln \frac{h_0}{h_1}. \quad (5.5)$$

Величина коефіцієнта C_b , який враховує ширину штаби, може бути знайдена за допомогою графіків, наведених у літературі. Величина коефіцієнта C_σ приблизно визначається за формулою:

$$C_\sigma = 1 - 2q_0/\sigma_T. \quad (5.6)$$

Усі вищенаведені формули належать до випадку прокатки прямокутної штаби в циліндричних валках. При розрахунку розширення в калібрах найчастіше використовують ті ж самі формули, але додають поправний коефіцієнт, який враховує особливості деформації в калібрах різної форми. За даними В.І. Зюзіна, поправочний коефіцієнт становить: для систем ромб-квадрат, ромб-ромб, овал-коло, овал-овал $k_\phi = 0,8 \div 0,85$; для системи квадрат-овал $k_\phi = 0,7 \div 0,74$; для системи ребровий овал-плоский овал $k_\phi = 1,2$. Обчислення та інші геометричні параметри рекомендується розраховувати за методом приведеної штаби.

Матеріали, інструмент, устаткування. Три свинцеві зразки прямокутної форми, розмірами 5x10x120 мм та один зразок, ступінчатий по ширині однієї товщини; двовалковий прокатний стан з діаметром валків 200 мм; штангенциркуль.

Порядок виконання роботи. Робота виконується на двовалковому стані з діаметром валків $D = 200$ мм.

Для дослідження впливу обтиску на розширення прокатують три однакових за формою і розмірами зразки із свинцю відповідно зі збільшенням обтиску: 1 – $\Delta h = 2,0$ мм; 2 – $\Delta h = 3,0$ мм; 3 – $\Delta h = 5,0$ мм. Товщину і ширину

зразків вимірюють до і після прокатки. Результати замірів заносять до таблиці 5.1. Розрахувати розширення за формулами.

Таблиця 5.1 – Дослідні і розрахункові дані по дослідженню впливу обтиску на розширення

№ досліджу	Розміри зразків, мм				Параметри прокатки				Δb за (5.3)
	H ₀	B ₀	h ₁	b ₁	Δh	Δb	l _d	α	

Для дослідження впливу початкової ширини B₀ на розширення прокатується один, ступінчатий по ширині зразок із свинцю однієї товщини H₀ завдяки чому обтиск буде постійним і його вплив на розширення виключається. Розміри зразка заміряються до і після прокатки і дані заносяться до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Дослідні та розрахункові дані по дослідженню впливу ширини на розширення

№ досліджу	Розміри зразків, мм				Параметри прокатки				Δb за (5.4)
	H ₀	B ₀	h ₁	b ₁	Δh	Δb	b _{cp}	α	

Зміст звіту. Виконати креслення зразка до деформації і після прокатки. Визначити параметри прокатки для кожного проходу та за формулами (5.3) і (5.4) знайти розширення металу. Заповнити таблицю 5.1. На підставі отриманих даних побудувати графіки $\Delta b = f(\Delta h)$. Заповнити таблицю 5.2. На підставі отриманих даних побудувати графіки $\Delta b = f(B_0)$. По графікам зробити висновки, а також указати і визначити ступень розбіжностей поміж експериментальним і теоретичним значенням розширення.

Контрольні питання:

1) Якими показниками характеризується абсолютне і відносне розширення?

2) Яким параметром деформації головним чином визначається розширення?

3) Чому розширення зростає зі збільшенням обтиску? Пояснити співзалежність розширення і витяжки виходячи із закону найменшого опору.

4) Що таке розширення? Які із параметрів збільшують, а які зменшують розширення металу і саме завдяки чому?

ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛИ ПРОКАТКИ

Мета роботи: дослідно-експериментальним та розрахунковим методами визначити залежність сили прокатки від головних факторів процесу прокатки.

Загальні відомості. За величиною сили прокатування та крутного моменту визначають найважливіші параметри процесу прокатування, що дозволяє експлуатувати механічне та електричне обладнання станів повністю використовуючи їх енергетичні можливості та міцність, і водночас не допускати їх перевантаження. Крім того, силу прокатування використовують як вихідний параметр в системах автоматичного регулювання та управління станами. Як буде показано пізніше сила прокатування – базовий параметр побудови математичних моделей станів та процесів прокатки. Це пов'язано з тим, що вимірник сили прокатування найскоріше від вимірників інших параметрів реагує на коливання геометричних розмірів штаби, до того ж безпосередньо в осередку деформації.

Силу прокатування вимірюють месдозами або тензометрами. Безпосередньо силу прокатування можна виміряти гідравлічними месдозами, але вони мають велике запізнення (інерційність) під час виміру. Окрім того, точність виміру визначається точністю манометрів, яка в більшості випадків недостатня для систем автоматичного регулювання. На промислових станах з метою автоматичного регулювання силу прокатування вимірюють прямим методом безперервно. За прямого методу датчик, перетворюючий силу в електричний сигнал, виконаний так, щоб уся вимірювана сила була замкнута тільки на датчик тобто, щоб датчик деформувався половиною сили прокатування тобто силою, діючою на натискний гвинт. Цією силою датчик пружно деформується. Перетворення деформації в електричний сигнал можливо здійснити двома шляхами. По-перше, це методи, що ґрунтуються на вимірюванні деформації на запрограмованій довжині навантаженого елемента. З цією метою на поверхні пружних елементів закріплюють

перетворювачі деформації в електричний сигнал, наприклад, тензотиристорні перетворювачі.

По-друге, це методи, що ґрунтуються на змінюванні тих чи інших властивостей навантаженого елемента: наприклад, до них відносяться магнітопружні та магнітоанізотропні перетворювачі, а також тензорезистори у випадку безпосередньої дії на них сили. Усі різновиди таких перетворювачів найчастіше розташовують поміж подушками верхнього валка і натискним гвинтами.

Відповідно до закону Гука пружна деформація елемента пропорційна діючій на нього силі. Очевидно, що за величиною деформації можливо визначити силу. Використовуючи цю залежність непрямым методом визначають силу прокатки за допомогою тензометрів, які розміщують на нейтральній лінії стійки станини кліті. Під час прокатування стійка по нейтральній смугі тільки розтягується, збільшуючи базову відстань l на величину пружної деформації Δl . Відповідно до закону Гука сила розтягування стійки буде визначатись рівнянням (6.1):

$$P_c = \frac{P_y}{2} = \frac{\Delta l / l}{EF} \quad (6.1)$$

де P_y - сила, діюча на натискний гвинт;

F - площа перерізу стійки;

E - модуль пружності матеріалу станини (для чавуну $E = (1,2 - 1,6) \cdot 10^5$) МПа; для литої вуглецевої сталі $E = 2,0 \cdot 10^5$ МПа; для кованої або штампованої легованої сталі $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа.

Знаючи, що $P_y = P/2$, сила прокатки P буде дорівнювати (6.2):

$$P = 4EF\Delta l / l \quad (6.2)$$

Теоретично сила прокатки за відомого середнього контактного тиску в осередку деформації обчислюється за формулою (6.3):

$$P = p_{cp} F_k, \quad (6.3)$$

де F_k - площа контакту металу з валками.

Для умов тонколистової прокатки p_{cp} визначається за формулою: В.О. Ніколаєва (6.4):

$$p_{cp} = 1,15\sigma_{T_{cp}} \left(1 + 0,48f_n \frac{1}{h_{cp}} \right), \quad (6.4)$$

де $\sigma_{T_{cp}}$ – середня границя плинності металу в осередку деформації

f_n – показник тертя, який дорівнює:

$$f_n = 1,6f - 0,018,$$

де f – коефіцієнт тертя, який для умов прокатки зразків із алюмінію з мастилом можна приймати рівним 0,08.

За цієї умови $f_n = 0,11$; формула (6.4) буде мати вигляд:

$$p_{cp} = 1,15\sigma_{T_{cp}} \left(1 + 0,05 \frac{1}{h_{cp}} \right). \quad (6.5)$$

Із формул (6.2), (6.3), (6.4) і (6.5) очевидно, що контактний тиск і сила прокатки залежать від границі плинності σ_m , умов тертя і параметру l/h_{cp} , при збільшенні яких, сила прокатки зростає. Взагалі, усі фактори прокатки, які збільшують опір поздовжнього і поперечного плину металу в осередку деформації, призводять до зростання сили прокатки.

Середню границю плинності $\sigma_{T_{cp}}$ визначають за формулою (6.6):

$$\sigma_{T_{cp}} = (\sigma_{T_0} + \sigma_{T_1})/2, \quad (6.6)$$

де σ_{T_0} – границя плинності металу до проходу;

σ_{T_1} – те ж саме після проходу.

Для алюмінію марки А1 $\sigma_{T_1} = 58 \text{ Н/мм}^2$. За формулою О. В. Третякова після прокатки:

$$\sigma_{T_1} = \sigma_{T_0} + 0,64\varepsilon_{\Sigma}^{0,62},$$

де ε_{Σ} - підсумковий відносний обтиск.

Середній тиск по експерименту:

$$P = p_{cp} F_k.$$

Матеріали, інструмент, устаткування. Три свинцові зразки прямокутної форми, розмірами 5x10x120 мм та один зразок, ступінчатий по ширині однієї товщини; двовалковий прокатний стан з діаметром валків 200 мм; штангенциркуль.

Порядок виконання роботи. Робота виконується на двовалковому стані з діаметром валків $D = 200 \text{ мм}$.

Для дослідів використовується зразок прямокутного перетину з алюмінію, міді або з м'якої сталі. Для цього вимірюють товщину й ширину зразка й прокатують його послідовно в три-чотири проходи, витримуючи в кожному проході приблизно постійне значення коефіцієнта обтиснення h_0/h_1 . У процесі прокатки фіксують показання мездоз і знаходять зусилля прокатки для кожного проходу. Потім вимірюють розміри перетину смуги після кожного проходу. Розраховують абсолютне обтиснення, коефіцієнт обтиснення, довжину в осередку деформації, середню ширину смуги й контактну площу. Знаходять середній контактний тиск. Результати заносять у таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Вплив зміцнення металу на зусилля й контактний тиск при прокатці

Номер досліджу	Розмір штаби, мм				Δh	h_0/h_1 мм	l_d мм	b_{cp} мм	F мм ²	P кН	P _{cp} МПа
	h_0	b_0	h_1	b_1							
1											
2											
3											

продовження таблиці 6.1.

$\epsilon_{рsum}$ %	Границя текучості МПа			f	δ	h_H/h_1	P _{cp} МПа	P кН
	σ_{i-1}	σ_i	σ_T					
1								
2								
3								

Знаходять сумарне обтиснення металу для кожного проходу по формулі $\epsilon_{сум} = \left(1 - \frac{h_i}{h_0}\right) 100\%$, де i - номер проходу.

По формулі О.В. Третьякова визначають границю текучості металу після i-го проходу:

$$\sigma_i = \sigma_{T0} + \sigma \epsilon_{сум}^m$$

де σ_{T0} - границя текучості не зміцненого металу;

σ , m - дослідні параметри.

Середня границя текучості в кожному проході знаходять по вираженню

$$\sigma_{Ti} = 0,5(\sigma_{i-1} + \sigma_i).$$

Задавшись значенням коефіцієнта тертя $f = 0,07 \dots 0,10$, визначають коефіцієнт $\delta \frac{2fl}{\Delta h}$. Розташовують значення параметрів h_n , P_{cp} і P . Отримані дані заносять у таблицю 6.1.

Зміст звіту. Виконати креслення зразка до деформації і після прокатки. Визначити параметри прокатки для кожного проходу. Заповнити таблицю 6.1. На підставі отриманих даних побудувати графіки залежності зусилля прокатки й середнього контактного тиску, отриманих у дослідах і розрахованих по формулі О.І.Целікова, від абсолютного обтиснення, кінцевої товщини штаби й сумарного обтиснення металу при холодній прокатці.

Контрольні запитання:

- 1) Як експериментальним шляхом визначити зусилля прокатки та середній контактний тиск?
- 2) Від яких параметрів залежить контактна площа? Залежність між зусиллям (тиском) прокатки та абсолютним обтиском?
- 3) Вплив товщини смуги після проходу на зусилля та контактний тиск при прокатці?
- 4) Завдяки чому збільшується зусилля та контактний тиск при холодній прокатці металів та сплавів при збільшенні сумарного обтиску?

ЛІТЕРАТУРА

1. Серода Б.П. Теорія процесів прокатного та трубного виробництва: методичні вказівки до лабораторного практикуму [Текст] / Б.П. Серода, М.Г. Прищип. – Запоріжжя: ЗДІА, 2004. – 42 с.
2. Данченко В.М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник [Текст] / В.М. Данченко, В.О. Гринкевич, О.М. Головка. – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.
3. Серода Б.П. Прокатне виробництво: навчально-методичний посібник [Текст] / Б.П. Серода. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – 252 с.
4. Теория прокатки. справочник [Текст] / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин [и др.] – М.: Металлургия, 1982. – 335 с.
5. Василев Я.Д. Теорія поздовжньої прокатки: підручник [Текст] / Я.Д. Василев, О.А. Мінаєв. – Донецьк: УНІТЕХ, 2009. – 488 с.