

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

ТЕОРІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ТОЧНОЇ ПРОКАТКИ ШТАБ

Методичні вказівки до лабораторних робіт

*для студентів ЗДІА
які навчаються за освітньо-професійною програмою
«Обробка металів тиском» зі спеціальності
136 «Металургія»
рівня вищої освіти «Магістр»*

*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри ОМТ
протокол № 3 від 12.10.2018 р.*

Запоріжжя
ЗДІА
2018

В.М. Проценко, к.т.н., доцент

***Відповідальний за випуск: зав. кафедри ОМТ
д.т.н., професор О.В. Явтушенко***

Рецензент: Таратута К.В., к.т.н., доцент ЗДІА

Проценко В.М.

Теорія та технологія точної прокатки штаб: методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів ЗДІА, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Обробка металів тиском» зі спеціальності 136 «Металургія», рівня вищої освіти «Магістр» денної і заочної форм навчання / В.М. Проценко. Запоріз. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2018. – 40 с.

Методичні вказівки призначені для магістрів, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Обробка металів тиском» зі спеціальності 136 «Металургія». Методичні вказівки включають план та методику проведення лабораторних робіт згідно до курсу дисципліни «Теорія та технологія точної прокатки штаб». Вказівки містять питання для самоконтролю знань та перелік рекомендованої літератури до самопідготовки.

ЗМІСТ

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт	4
Лабораторна робота № 1	6
Лабораторна робота № 2	15
Лабораторна робота № 3	21
Лабораторна робота № 4	28
Лабораторна робота № 5	38
Перелік літератури	42

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 опиратися 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 волошіння, 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 підкладального інструменту і деталей (підкладальних бойків, прошивнів та ін.). Для цього необхідно виконувати такі вимоги:

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

7.2 Висота стискуваних 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 прошивню 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 поломок 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, необхідно 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.

Лабораторна робота № 1

ВАЛКИ І ВАЛКОВА АРМАТУРА

Мета роботи: визначення прогину валка в процесі прокатування штаб.

Теоретичні відомості

В прокатному сортаменті листова продукція становить 65-67%. Якість листової (штабової) продукції оцінюють відповідністю необхідного хімічного складу, мікроструктури, показників механічних властивостей (межі міцності і текучості, відносного подовження, твердості), різнотовщинності і неплщинності.

Вихідна поперечна різнотовщинність гарячекатаної штаби обумовлена наявністю декількох постійно діючих факторів:

- різною температурою по ширині штаби – кромки мають меншу температуру. Останнє сприяє меншим нормальним контактним напруженням в середині ширини штаби і більшому обтисненню металу;
- різницею температури металу на лівій (завалочній) і правій (приводній) крайках штаби перед чистовою групою клітей, що зумовлює різну товщину крайок - меншу на більш нагрітій кромці;
- наявністю прогину робочих і опорних валків, величина якого визначається силовими, геометричними параметрами валків і штаби, системою профілюванням валків. Фактори, що збільшують прогин валків призводять до збільшення поперечної різнотовщинності штаб;
- при прокатуванні кінцевих ділянок штаб (переднього і заднього) без натягу збільшується сила прокатки, прогин валків і поперечна різнотовщинність штаб;
- нераціональним профілюванням валкового комплекту без урахування ширини штаби - призводить до нерівномірного розподілу міжвалкового тисків і тисків під штабою, що викликає нерівномірний знос валків і нерівномірні обтиснення, і товщини штаби по ширині.

Експериментальна частина

Для вимірювання прогину валка використовують установку, представлену на рис. 1.1. Ця установка має валок 2, що спирається шийками 3 на опори 4, які в свою чергу встановлені на плиту 6 рухомої траверси пресу типу УПГ - 20 / 2. Валок через штабу 1 навантажують зусиллям $P=10 - 50$ кН, а прогин валка вимірюють індикатором 5 з використанням стрижня - подовжувача 7 [1].

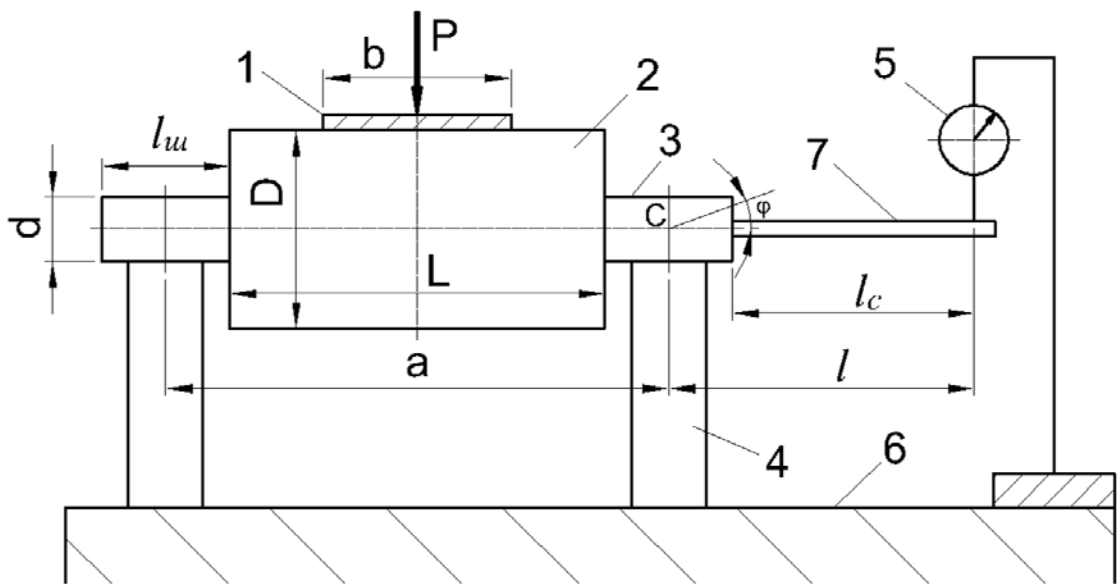


Рисунок 1.1 - Установка для визначення прогину валка: 1 - штаба; 2 – валок, прогин якого досліджується; 3 - шийка валка; 4 - опора; 5 - індикатор; 6 - опорна плита; 7 – стрижень-подовжувач.

Установка має наступні параметри (мм):

Діаметр валка – $D = 53$;

діаметр шийки – $d = 17$;

довжина бочки валка - $L = 100$;

довжина шийки валка - $l_{ш} = 34$;

довжина стрижня - $l_c = 170$;

ширина штаб - $b = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$;

відстань - $a = 134$;

навантаження - $P = 10, 20, 30, 40, 50$ кН.

Прогин краю бочки валка щодо точки «С» визначимо з виразу

$$y_1 = y \cdot \frac{l_{\text{ш}}}{2 \cdot l} \quad (1.1)$$

де y - відхилення кінця стрижня, що вимірюється індикатором; $l_{\text{ш}}$ - довжина шийки; l - довжина, що визначається за виразом

$$l = l_c + 0,5 \cdot l_{\text{ш}} = 170 + 0,5 \cdot 34 = 187 \text{ мм}, \quad (1.2)$$

де l_c - довжина стрижня вимірювача до осі індикатора.

Прогин валка щодо точки «С» при вигині його по параболічній кривій дорівнює:

$$W_c = y_1 \cdot \left(\frac{a}{l_{\text{ш}}}\right)^2 \quad (1.3)$$

Прогин валка щодо краю бочки;

$$W_6 = W_c \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 \quad (1.4)$$

Як приклад визначимо прогин валка W_6 при різних навантаженнях P і різній ширині штаби b , що наведені вище. В ході експерименту були отримані наступні значення параметру « y », наведені у табл. 1.1., які використовуються при розрахунку прогину валка для різних $P = 10 - 50$ кН, за формулою (1.1).

Для ширини штаби 10 мм:

$$y_{1P1} = y_{P1} \cdot \frac{l_{\text{ш}}}{2 \cdot l} = 0,0193 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00176 \text{ мм};$$

$$y_{1P2} = y_{P2} \cdot \frac{l_{\text{ш}}}{2 \cdot l} = 0,0386 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00351 \text{ мм};$$

$$y_{1P3} = y_{P3} \cdot \frac{l_{\text{ш}}}{2 \cdot l} = 0,058 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00527 \text{ мм};$$

$$y_{1P4} = y_{P4} \cdot \frac{l_{\text{ш}}}{2 \cdot l} = 0,0773 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00703 \text{ мм};$$

$$y_{1P5} = y_{P5} \cdot \frac{l_{ш}}{2 \cdot l} = 0,0966 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00878 \text{ мм.}$$

Таблиця 1.1 – Експериментальні значення параметра “у”, отримані при навантаженнях валка $P = 10 - 50$ кН і при ширині штаби $10 - 90$ мм

Ширина штаби, мм	Значення "у" (мм) при навантаженні P, кН				
	10	20	30	40	50
10	0,0193	0,0386	0,0580	0,0773	0,0966
20	0,0193	0,0385	0,0578	0,0770	0,0963
30	0,0192	0,0383	0,0575	0,0766	0,0958
40	0,0190	0,0381	0,0571	0,0761	0,0951
50	0,0189	0,0377	0,0566	0,0754	0,0943
60	0,0187	0,0373	0,0560	0,0746	0,0933
70	0,0184	0,0369	0,0553	0,0737	0,0922
80	0,0182	0,0364	0,0545	0,0727	0,0909
90	0,0179	0,0358	0,0537	0,0716	0,0895

Тепер знаходимо прогин валка відносно точки «С» по формулі (1.3):

$$W_{CP1} = y_{1P1} \cdot \left(\frac{a}{l_{ш}}\right)^2 = 0,00176 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,0273 \text{ мм;}$$

$$W_{CP2} = y_{1P2} \cdot \left(\frac{a}{l_{ш}}\right)^2 = 0,00351 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,0546 \text{ мм;}$$

$$W_{CP3} = y_{1P3} \cdot \left(\frac{a}{l_{ш}}\right)^2 = 0,00527 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,0818 \text{ мм;}$$

$$W_{CP4} = y_{1P4} \cdot \left(\frac{a}{l_{ш}}\right)^2 = 0,00703 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,1091 \text{ мм;}$$

$$W_{CP5} = y_{1P5} \cdot \left(\frac{a}{l_{ш}}\right)^2 = 0,00878 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,1364 \text{ мм.}$$

Прогин валка відносно краю бочки буде дорівнювати по формулі (1.4):

$$W_{6P1} = W_{CP1} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,0273 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,0152 \text{ мм;}$$

$$W_{6P2} = W_{CP2} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,0546 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,0304 \text{ мм;}$$

$$W_{6P3} = W_{CP3} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,0818 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,0456 \text{ мм;}$$

$$W_{6P4} = W_{CP4} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,1091 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,0608 \text{ мм};$$

$$W_{6P5} = W_{CP5} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,1364 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,076 \text{ мм}.$$

Будуємо графік залежності $W_6 = f(P)$ – рис. 1.2.

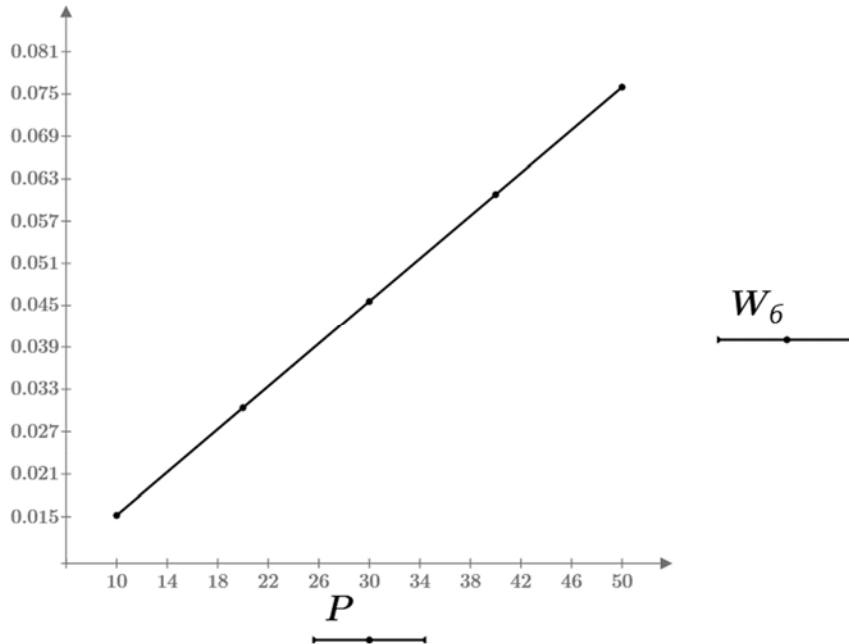


Рисунок 1.2 – Залежність прогину бочки валка W_6 , мм, від навантаження на валок P , кН

Аналогічні розрахунки виконують для штаб іншої ширини відповідно до параметрів табл. 1.1. Результати розрахунків заносяться до табл. 1.2.

Рисунок 1.3 показує, що чим ширше штаба, тим менше прогин валка, але ширина штаби слабо впливає на прогин. Значно сильніше на прогин валка впливає навантаження, тобто сила прокатки (див. рис. 1.2).

Далі розраховуємо очікувану величину прогину валка по теоретичній формулі [2]:

$$f = \frac{P}{384 \cdot E \cdot J_1} \cdot \left[8 \cdot a^3 - 4 \cdot a \cdot b^2 + b^3 + 64 \cdot c^3 \cdot \left(\frac{J_1}{J_2} - 1 \right) \right]; \quad (1.5)$$

де P – навантаження, Н; E – модуль пружності: для сталюго валка дорівнює $2,15 \cdot 10^{11}$ Н/м²; J_1 і J_2 – момент інерції перетину бочки і шийки валка відповідно, м⁴; a – відстань між опорами валка, м (див. рис. 1.2); b – ширина штаби, м; c – половина довжини шийки валка $l_{ш}$, м.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків за експериментальними даними прогину валка при різних навантаженнях на нього і при використанні штаби різної ширини

Ширина штаби, мм	Прогин валка W_6 , мм, при різних навантаженнях P				
	$P=10$ кН	$P=20$ кН	$P=30$ кН	$P=40$ кН	$P=50$ кН
10	0,0152	0,0304	0,0456	0,0608	0,0760
20	0,0151	0,0303	0,0454	0,0606	0,0757
30	0,0151	0,0301	0,0452	0,0603	0,0753
40	0,0150	0,0299	0,0449	0,0598	0,0748
50	0,0148	0,0297	0,0445	0,0593	0,0742
60	0,0147	0,0293	0,0440	0,0587	0,0734
70	0,0145	0,0290	0,0435	0,0580	0,0725
80	0,0143	0,0286	0,0429	0,0572	0,0715
90	0,0141	0,0282	0,0422	0,0563	0,0704

За даними табл. 1.2 будуються графіки, наведені на рис. 1.3.

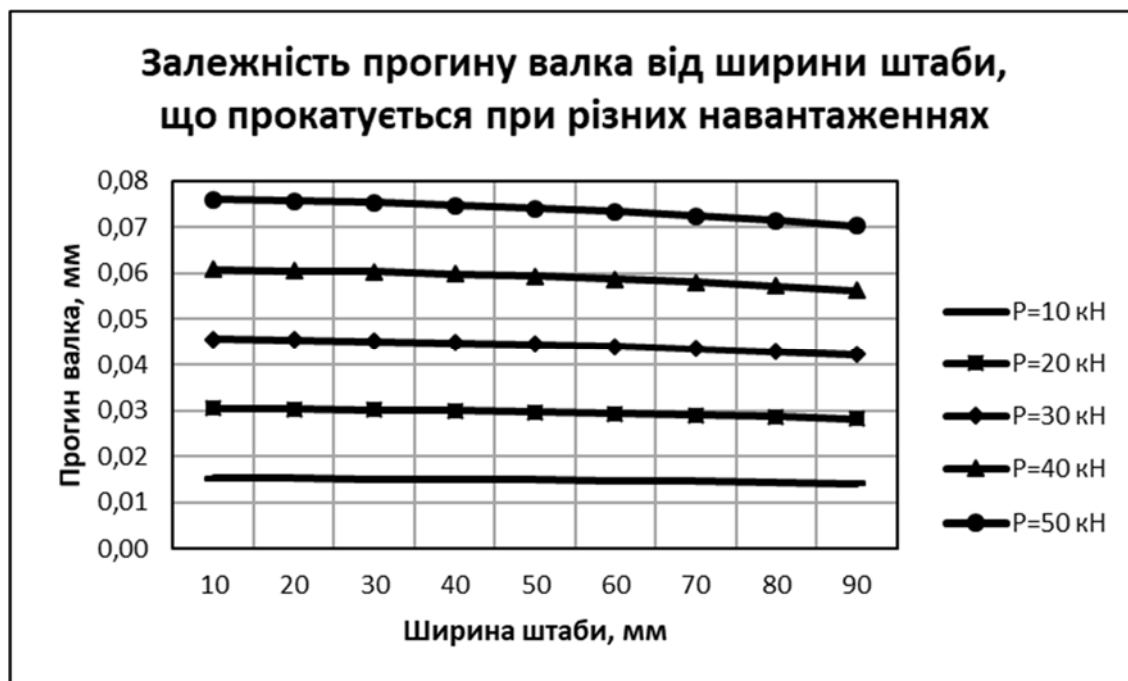


Рисунок 1.3 – Залежність прогину валка від ширини штаби при різних навантаженнях

Для розрахунку приймаємо наступні значення: $E = 2,15 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$;

$$J_1 = \frac{\pi}{64} \cdot D^4 = \frac{\pi}{64} \cdot 0,053^4 = 3,873 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4;$$

$$J_2 = \frac{\pi}{64} \cdot d^4 = \frac{\pi}{64} \cdot 0,017^4 = 4,1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4;$$

$$\frac{J_1}{J_2} = 94,473;$$

$a = 0,134 \text{ м}$; $c = 0,017 \text{ м}$.

При $b = 10 \text{ мм}$, тобто $0,01 \text{ м}$ і $P = 10 \div 50 \text{ кН}$, тобто $10000 \div 50000 \text{ Н}$ отримаємо за формулою (1.5):

$$f_{P_1} = \frac{10000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7}} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)] = 1,519 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,0152 \text{ мм};$$

$$f_{P_2} = \frac{20000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7}} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)] = 3,039 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,0304 \text{ мм};$$

$$f_{P_3} = \frac{30000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7}} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)] = 4,558 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,0456 \text{ мм};$$

$$f_{P_4} = \frac{40000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7}} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)] = 6,078 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,0608 \text{ мм};$$

$$f_{P_5} = \frac{50000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7}} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)] = 7,597 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,076 \text{ мм};$$

Отримані дані заносимо до табл. 1.3 і порівнюємо з експериментальними

даними (табл. 1.2). Будуємо графік залежності прогину бочки валка f від навантаження на валок P і наносимо його на рис. 1.2. У даному випадку результати табл. 1.2 і 1.3, а також графіки на рис. 1.2 співпадають.

Таблиця 1.3 – Результати розрахунків за теоретичною формулою прогину валка при різних навантаженнях на нього і при використанні штаби різної ширини

Ширина штаби, мм	Теоретичний прогин валка f (мм) при навантаженнях:				
	$P=10$ кН	$P=20$ кН	$P=30$ кН	$P=40$ кН	$P=50$ кН
10	0,0152	0,0304	0,0456	0,0608	0,0760
20	0,0151	0,0303	0,0454	0,0606	0,0757
30	0,0151	0,0301	0,0452	0,0603	0,0753
40	0,0150	0,0299	0,0449	0,0598	0,0748
50	0,0148	0,0297	0,0445	0,0593	0,0742
60	0,0147	0,0293	0,0440	0,0587	0,0734
70	0,0145	0,0290	0,0435	0,0580	0,0725
80	0,0143	0,0286	0,0429	0,0572	0,0715
90	0,0141	0,0282	0,0422	0,0563	0,0704

За допомогою комп'ютерної програми Mathcad будуємо контурний графік, зображений на рис. 1.4. На цьому графіку по горизонтальній осі відкладено значення ширини штаби b (мм), по вертикальній осі – значення навантаження P (кН). На самому графіку зображено зони з однаковою величиною прогину валка f (мм).

Ширина штаби і навантаження задаються студентам викладачем на початку експериментальної частини. Потім визначається параметр “ y ” значення якого заносяться до таблиці, аналогічної табл. 1.1. Виконуються розрахунки, заповнюються таблиці прогину валків і будуються графіки.

Необхідно зробити висновки.

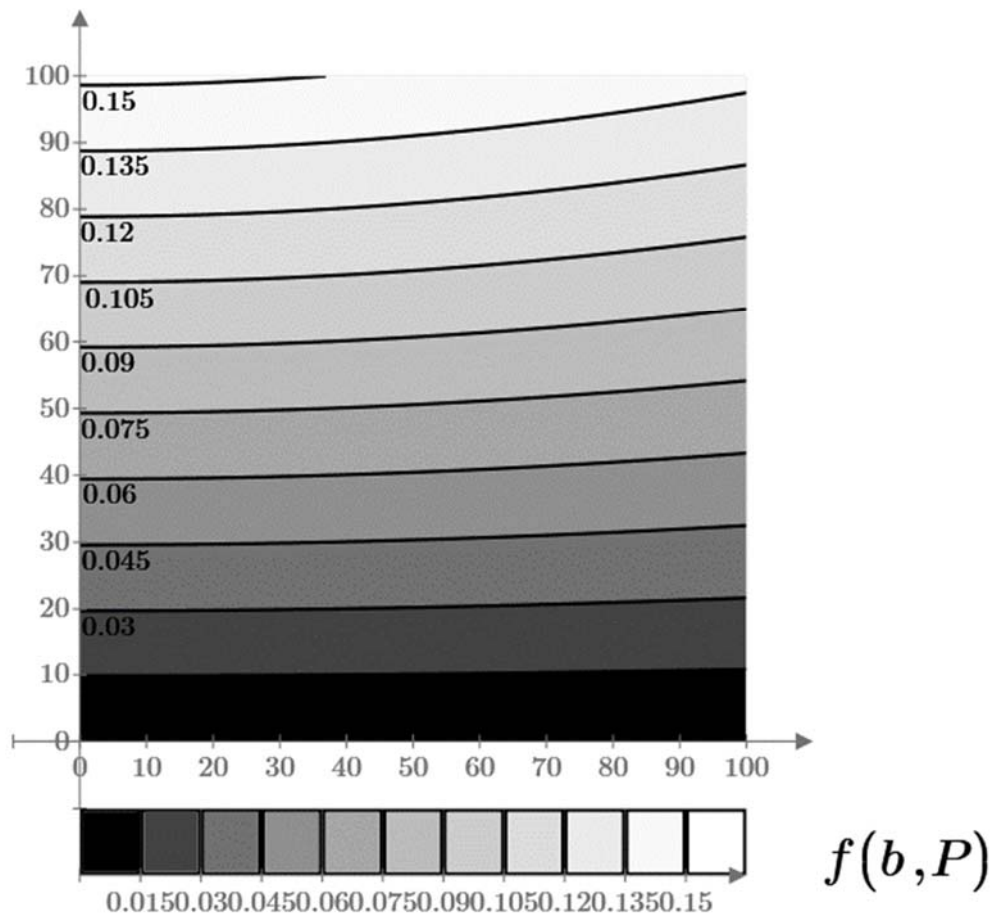


Рисунок 1.4 – Контурний графік залежності прогину валка f (мм) від ширини штаби b (мм) і навантаження P (кН)

Контрольні запитання

1. Чим відрізняється штаба від листа?
2. Причини появи поперечної різнотовщинності штаб (листів)?;
3. Чим обумовлена нерівномірність деформації штаб (листів)?;
4. Види нерівномірності тиску між валками і штабою;
5. Яким чином впливають різні фактори на прогин валка?
6. Чим обумовлено збільшення прогину валка зі збільшенням зусилля?

Лабораторна робота № 2

ВИЗНАЧЕННЯ МІЖВАЛКОВОГО ТИСКУ ПРИ ПРОКАТУВАННІ ШТАБ

Мета роботи: експериментальне визначення міжвалкового тиску.

Теоретичні відомості

Штабовий і листовий метал прокатують в основному в чотиривалкових клітках (клітках кварто). У ряді випадків використовують шести - і двадцятивалкові кліті. Незалежно від загальної кількості валків штаба обробляється в двох робочих валках, а решта валків є опорними. Робочі валки безпосередньо визначають умови деформації металу та з метою зниження навантаження на кліть їх діаметр прагнуть зробити мінімального допустимого діаметру. Мінімальний діаметр робочих валків обумовлений величинами контактних напруг та інтенсивністю їх зносу. Періодичність перевалки по зносу повинна бути в межах не більше однієї перевалки протягом однієї зміни.

Перевагою застосування робочих валків невеликого діаметру є зниження нормальних контактних напруг і зусилля, що діє на робочу кліть. Зниження нормальних напружень обумовлено зменшенням впливу поздовжніх підпирають напруг σ_3 за рахунок зменшення довжини дуги контакту і, отже, контактних дотичних сил тертя. Зменшення зусилля прокатки обумовлено зниженням середніх нормальних контактних напруг і довжини дуги контакту. Крім того, застосування робочих валків невеликого діаметру забезпечує порівняно невеликі величини крутного моменту та потужності власне прокатки. Опорні валки завжди мають діаметр в 2-3 рази більше діаметра робочих валків, вони запобігають прогин робочих валків і знижують поперечну різнотовщинність штаби.

Під час прокатки штаб на міжвалковому контакті виникає міжвалковий тиск $q(y)$ (рис. 2.1). Форма епюри міжвалкових тисків залежить від величини і характеру профілюванням робочих і опорних валків і ширини прокатуваної

штаби. При опуклому профілі бочок валків і вузькій штабі максимум $q(y)$ знаходиться в середній частині довжини бочок (рис. 2.1, епюри 4).

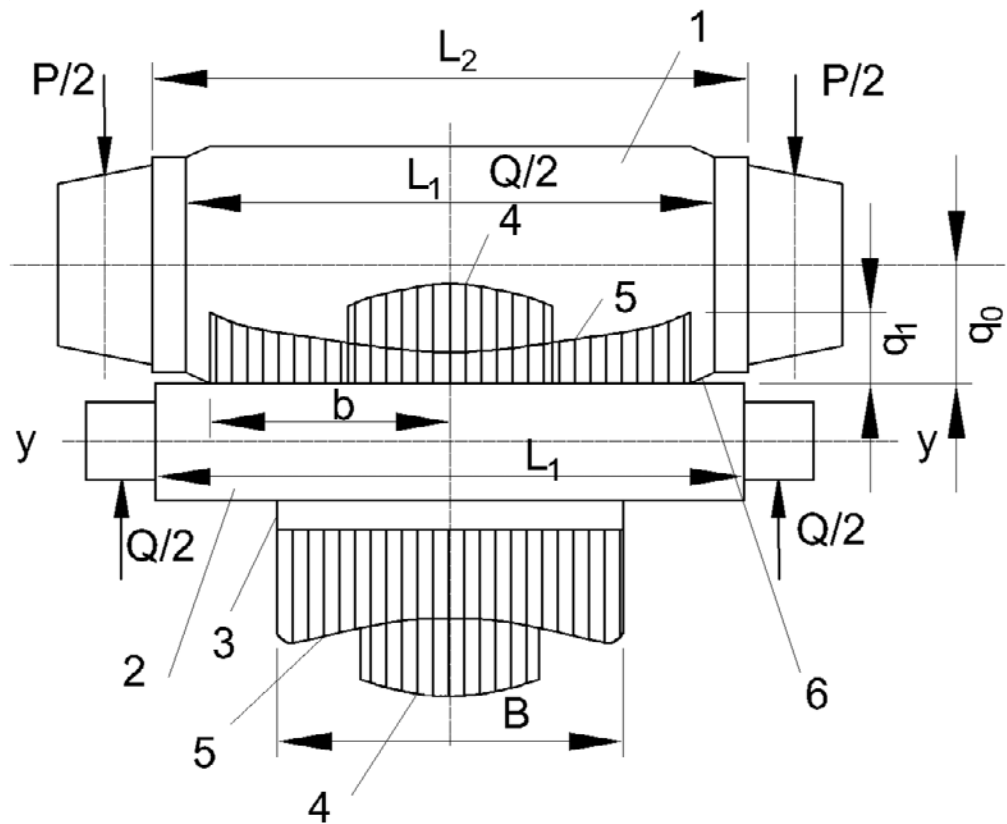


Рисунок 2.1 - Нерівномірний розподіл тиску $q(y)$ між новими циліндричними опорним і робочим валками і штабою $p(y)$: 1 - опорний валок; 2 - робочий валок; 3 - штаба; 4 - епюри $q(y)$ і $p(y)$ при прокатуванні вузьких штаб; 5 – теж при прокатуванні широких штаб; 6 - кінцеві скоси; Q - зусилля протівигину робочих валків.

Характер розподілу тисків $q(y)$ зумовлює величину прогину робочого валка і інтенсивність зносу валків. Епюри 4 (рис. 1.2) сприяє збільшенню прогину робочого валка і зносу валків в середній частині довжини бочки. Нерівномірність розподілу $q(y)$ характеризується коефіцієнтом

$$n_q = q_1 / q_0 \quad (2.1)$$

де q_1 і q_0 - міжвалкового тиску відповідно на краю бочок валків і в середині.

При прокатуванні вузьких штаб $n_q < 1$, а при прокатуванні широкої штаби $n_q \geq 1$. Теоретичним шляхом розподіл міжвалкового тиску може бути розраховане з виразу [3]

$$q(y) = \frac{P(1+m)}{2b(m+n)} \left[1 + (n-1) \frac{y^m}{b^m} \right], \quad (2.2)$$

де m - показник ступеня параболічного профілю утворюють бочок валків; y - поточна координата по довжині опорного валка (відстань від осі валка до кінцевої точки контакту валків); b - довжина між валкового контакту (рис. 5).

Показник ступеня m дорівнює:

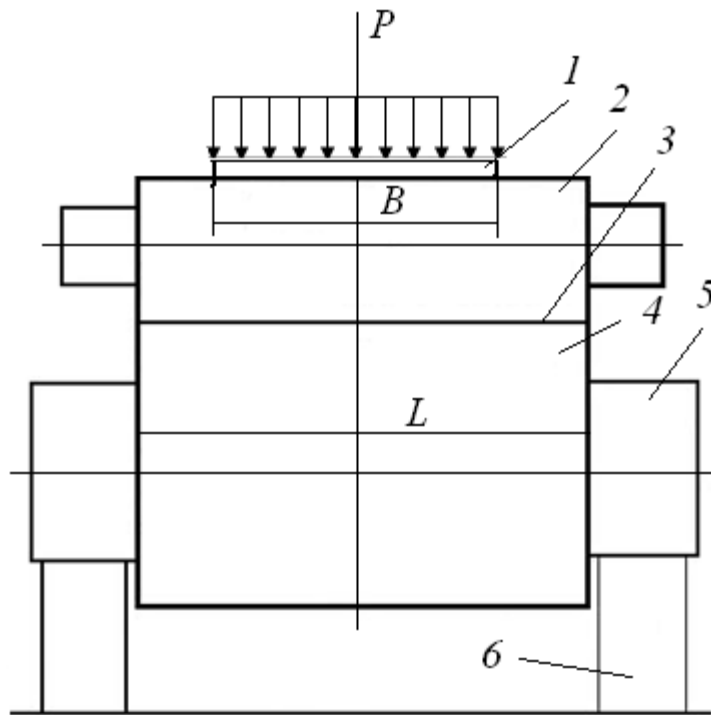
$$m = (m_p \cdot m_{оп}) / 2 \quad (2.3)$$

де m_p і $m_{оп}$ - показники ступеня утворюють відповідно робочого і опорного валків.

Чим більше показник m , тим менше значення n_q і більше прогин робочого валка. Зі сказаного випливає, що в практичних умовах слід вибирати такі профілюванням валків, в тому числі і кінцеві скоси опорних валків, які б забезпечували рівномірний розподіл $q(y)$ і значення $n_q \approx 1$. Підхід до визначення раціонального профілювання валків розглянуто в роботах.

Експериментальне визначення між валкового тиску

Дослідження впливу параметрів деформації на міжвалкового тиску виконували на моделі чотиривалкової кліті (рис. 2.1) з діаметрами робочого валка $D_p = 32$ мм і опорного $D_{оп} = 80$ мм, довжина бочки $L_1 = 100$ мм.



- 1 - штаба; 2 - робочий валок; 3 - копіювальний папір; 4 - опорний валок;
 5 - шийка опорного валка; 6 - опора; 7-опорна плита

Рисунок 2.1 - Схема установки для дослідження між валкового тиску

Валки виготовлені з сталі марки 9Х з поверхневим загартуванням. Робочий валок має опуклість $f_p = 0,1$ мм, а опорний валок - циліндричний. Для фіксування між валкового майданчики контакту між валками мають у своєму розпорядженні тонку копіювальний папір, на якій виходять досить чіткі відбитки при навантаженні валків зусиллям P через алюмінієву пластину, шириною $B = 60-80$ мм. Після навантаження валків зусиллям $P = \text{const}$ ($P=30-50$ кН) витягують копіювальний папір і на інструментальному мікроскопі вимірюють у поперечних перетинах майданчика параметр a_i через кожні 5-7 мм її довжини. Потім визначають середню ширину «а» майданчика (мм)

$$a = \frac{\sum_{i=1}^i a_i}{i}, \quad (2.4)$$

де i - кількість замірів a_i .

Середнє між валкового тиску розраховуємо з виразу

$$q = P/2b, \text{кН/см} \quad (2.5)$$

а максимальний тиск q_0 з виразу

$$q_0 = q \cdot a_0/a \quad (2.6)$$

Величини $q(y) = q_i$, в кожному перетину майданчики розраховують таким чином

$$q_i = q \cdot a_i/a \quad (2.7)$$

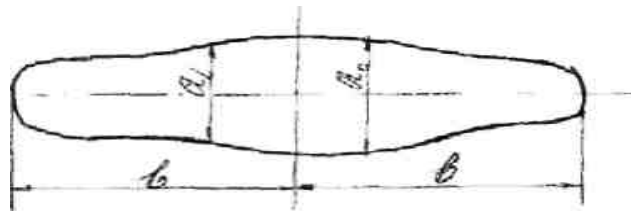


Рисунок 2.2 - Схема контактної площадки, виконаної після вимірювання на інструментальному мікроскопі.

Всі виміряні і розрахункові параметри вносять в табл. 4 і по них виробляють побудова епюри тисків $q_i = \Phi(2b)$ (рис. 2.2).

Таблиця 2.1 - Виміряні і розрахункові параметри для ширини штаби
($B=60$ мм; $B=90$ мм; $a=\dots$ мм; $q=\dots$ кН/см²; $n_q=\dots$)

№ заміру	B=60 мм		B=70 мм		B=80 мм	
	a, мм	q _i , кН/см	a _i , мм	q _i , кН/см	a _i , мм	q _i , кН/см
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

Контрольні запитання

1. Що таке міжклітинний тиск?
2. Які фактори впливають на характер розподілу $q(y)$?
3. Чим характеризується нерівномірність розподілу $q(y)$? Поясніть причини.
4. Виконати аналіз формули (2.2).
5. Якими умовами визначаються діаметри робочого і опорного валків?
6. Як і чому нерівномірність розподілу $q(y)$ впливає на поперечну різнотовщинність штаб?

Лабораторна робота № 3

ЗНАХОДЖЕННЯ СПЛЮЩЕНОЇ ДОВЖИНИ ДУГИ КОНТАКТУ ПРИ ХОЛОДНОМУ ПРОКАТУВАННІ

Мета роботи: експериментальне знаходження довжини дуги контакту при холодному прокатуванні штаб.

Теоретичні відомості

При прокатуванні штаб відбувається пружна і пластична деформація металу. Пружна деформація (зворотна) завжди передує пластичній (залишковій) деформації, але при гарячому прокатуванні пружна деформація штаби практично відсутня. Пластична деформація металу починається за умови, коли внутрішні напруження, що виникають у перетині штаби досягнуть напруження плинності (межі пружності) металу. Внутрішні напруги (без урахування сил тертя) при осаді зразка рівні:

$$\sigma_1 = P / F , \quad (3.1)$$

де P - зусилля деформації; F - площа контакту (площа перетину зразка).

Таким чином, пластична деформація виникне при нарузі σ_1 яке дещо перевищить межу пружності і досягне напруги плинності металу, тобто

$$\sigma_1 = \sigma_T , \quad (3.2)$$

де σ_T - напруга плинності металу.

Умова (3.2) дійсна як для металу прокатуваної штаби, так і самих валків.

Напруга текучості - нормований параметр для кожної конкретної марки сталі (чи іншого металу) і залежить від температури, ступеня і швидкості деформації металу.

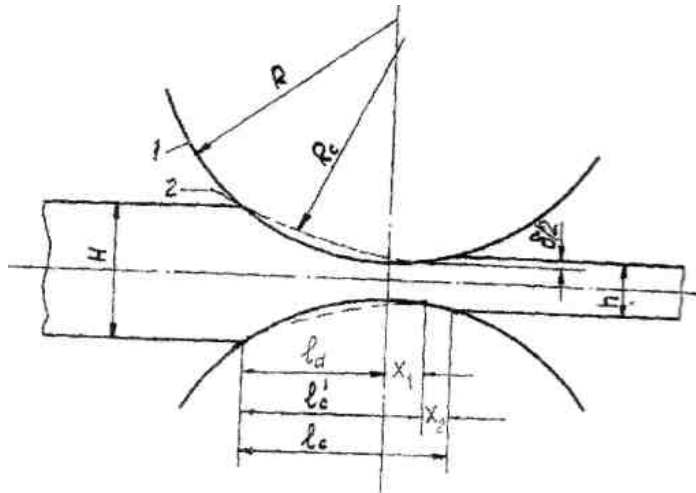
Оскільки штаба та валки знаходяться в контакті, то необхідно забезпечити умови деформації, при яких відбувається пластична деформація тільки штаби, але не валків. Для виконання цієї умови матеріал валків завжди

має великі величини напружень текучості, міцності і твердості. Так, наприклад, при гарячому прокатуванні (температура $t = 800-1200^{\circ} \text{C}$) метал штаби (сталь) має напругу текучості в межах $\sigma_T = 60-150 \text{ Н/мм}^2$, напруга плинності металу валків зі сталі марки 50ХН $\sigma_T = 450 \text{ Н/мм}^2$, а межа міцності $\sigma_B \approx 600 - 700 \text{ Н/мм}^2$. При холодному прокатуванні штаб з низько вуглецевої сталі відмінність між напругами плинності штаби і валків мають менше розходження, але істотно розрізняються величини твердості металу (НВ/НСД): штаба - (190-230)/(29-35); робочий валок - (650-680)/(93-97), де НВ і НСД - відповідно твердості по Бринелю і Шору.

Високу твердість поверхневого шару валків отримують шляхом загартування, що одночасно забезпечує і підвищення міцності поверхневого шару валків. У зв'язку з цим робочі валки витримують контактні тиски, що значно перевищують напруги плинності металу.

Так, за даними А. В. Третьякова та ін. [4], при твердості валка 85НСД допустимі контактні напруги складають $p_{\text{доп}} = 2400 \text{ Н/мм}^2$ (напруги плинності низько вуглецевої сталі після зміцнення з сумарним обтисненням $E_{\Sigma} = 60-70\%$ складають $\sigma_T = 600-750 \text{ Н/мм}^2$). У зв'язку з вказаним при нормальному процесі прокатки валки зазнають тільки пружну деформацію. У разі аварійних ситуацій (накладення штаб, порив штаби, перевищення допустимих обтиснень) контактні тиски між штабою і валками можуть перевищити допустимі ($p_{\text{ср}} > p_{\text{доп}}$) і відбудеться місцева пластична деформація робочих валків (надав, навар штаби), що призводить до зупинки стану і заміні валків.

Пружна деформація бочок валків має місце у всіх випадках прокатки штаб і вона надає відповідний вплив на геометричні параметри осередку деформації і, отже, на кінематичні та силові параметри прокатки. Проте помітний вплив на вказані параметри пружне сплющування валків надає при нормальних контактних тисках $p_{\text{ср}} \geq 300 \text{ Н/мм}^2$ (прокатка в останніх 3 – 4 х - клітках чистової групи неперервного штабового стану гарячої прокатки і у всіх випадках холодної прокатки штаб).



1-контур жорсткого валка; 2 - контур пружно деформованого валка

Рисунок 3.1 - Схема осередку деформації при холодному прокатуванні

У результаті пружного деформування валка в осередку деформації відбуваються такі зміни (рис. 3.1):

- збільшується радіус валка з R до R_c ;
- збільшується довжина дуги контакту на величину x_1 (з l_d до l_c');
- зменшується величина обтиснення.

При холодному прокатуванні в осередку деформації відбувається пружна деформація самої штаби, а на виході з осередку деформації з довжиною l_c' висотні розміри штаби відновлюються на величину δ за рахунок чого загальна довжина осередку зростає на величину x_2 .

На рис. 3.1 маємо: H і h -товщина вихідна і кінцева; δ - величина пружної деформації штаби; R і R_c - радіуси відповідно жорсткого і пружно деформованого валка; l_d - довжина дуги контакту на жорсткому валку; x_1 і x_2 - збільшення довжини дуги відповідно за рахунок пружних деформацій валка і штаби; l_c' - довжина дуги контакту з урахуванням сплюсцування валка; l_c - повна довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валка і штаби.

Для теоретичного розрахунку параметрів l_d , l_c' та l_c використовують відомі формули (без урахування натягання штаби):

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (3.3)$$

$$l'_c = \frac{c + \sqrt{c^2 + 4R \cdot \Delta h (1 - c \cdot f_{II} / 2h_{cp})}}{2(1 - c \cdot f_{II} / 2h_{cp})}; \quad (3.4)$$

$$c = \sigma_\phi \cdot R / 47500; x_2 = \sigma_{\phi_1} R / 95000; \quad (3.5)$$

$$l_c = l'_c + x_2; h_{cp} = \sqrt{H \cdot h}, \quad (3.6)$$

де Δh - фактичне абсолютна обтиснення; f_{II} - показник тертя; h_{cp} - середня товщина штаби; σ_ϕ - середнє опір металу у осередку деформації; σ_{ϕ_1} - опір металу деформації після прокатки:

$$\sigma_\phi = 1,15 \cdot \sigma_T; \sigma_{\phi_1} = 1,15 \cdot \sigma_{T1} \quad (3.7)$$

де σ_T і σ_{T1} - межа текучості металу і середня межа текучості металу в осередку деформації і після прокатки.

Формули (3.5) придатні при прокатуванні сталеві штаби в сталевих валках. Величини межі текучості σ_T і σ_{T1} відомі. При розрахунку сплющеної дуги при прокатуванні алюмінієвих штаб (алюміній марки А1) параметри σ_T і σ_{T1} і x_2 визначають за наступними формулами (для алюмінію модуль пружності дорівнює $E = 67500 \text{ Н/мм}^2$): межа текучості алюмінію за А. В. Третьяковим (для А1) [4]:

$$\sigma_0 = 60 \text{ Н/мм}^2; \sigma_{T1} = 60 + 6,4 \cdot e^{0,62}; \quad (3.8)$$

$$\sigma_\phi = 1,15 [\sigma_{T0} + 0,67(\sigma_{T1} - \sigma_{T0})],$$

де σ_{T0} - межа текучості до деформації; e - сумарне відносне обтиснення за n - кількість проходів.

Параметр x_2 дорівнює:

$$\sigma_\phi = 1,15 \cdot \sigma_T; x_2 = \sigma_{\phi_1} \cdot R / 29000. \quad (3.9)$$

Для міді марки М1-М4 маємо (модуль пружності $E = 100000 \text{ Н/мм}^2$):

$$\sigma_0 = 81H/мм^2; \sigma_{T1} = 81 + 6,3 \cdot e^{0,41}; \quad (3.10)$$

$$\sigma_\phi = 1,15\sigma_{T1}, x_2 = \sigma_{\phi1} \cdot R / 48300. \quad (3.11)$$

Експериментальне визначення довжини дуги контакту

Існує кілька методів експериментального дослідження сплющеної довжини дуги контакту. Два з них можуть бути використані тільки в лабораторних умовах і вимагають застосування спеціальних датчиків, що вбудовуються у валки, та електронної апаратури. Ці датчики фіксують період проходження штаби довжини осередку деформації. Одночасно фіксується час і проходження штаби осередку деформації та швидкість валків v і за формулою розраховують довжину дуги контакту:

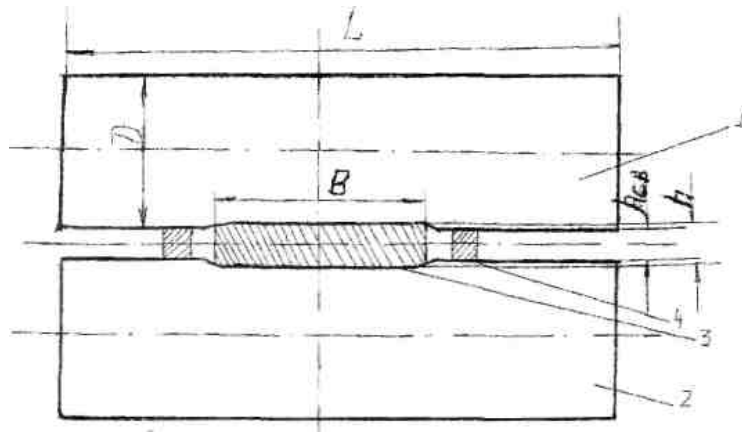
$$l_c = v \cdot t,$$

А. В. Третьяков пропонує визначати довжину дуги контакту l_c по зусиллю прокатки [4]:

$$l_c = \sqrt{R(\Delta h + P / 4.75B)}. \quad (3.12)$$

У цій формулі: P - у тонах; $B, R, \Delta h$ - у міліметрах. Проте для визначення довжини l_c необхідне застосування месдоз і спеціальної апаратури для вимірювання зусилля прокатки.

Простий метод вимірювання сплющеної дуги контакту запропонований В. О. Ніколаєвим [3]. Цей метод не вимагає спеціальних вимірювальних пристроїв та апаратури. Метод заснований на одночасному прокатуванні в валках штаб з різними механічними властивостями. Причому одна штаба має більш високі величини напруги плинності (випробуваний матеріал) і дві смужки свідки зі значно меншими величинами напруги текучості. Наприклад, якщо випробуваний матеріал із сталі, то свідками можуть бути штаби зі свинцю або відпаленого алюмінію. При прокатуванні штаб з міді або алюмінію в якості свідків використовують штаби зі свинцю (рис. 3.2).



1, 2 - валки; 3 - сталевая штаба; 4-свинцеві смужки («свідки»)

Рисунок 3.2 - Схема до визначення сплющеної дуги контакту при холодному прокатуванні штаб

На рис. 3.2 представлена схема прокатки штаб з різного матеріалу. Наприклад, середня штаба зі сталі (міді, алюмінію), а дві крайні смужки зі свинцю. На контакті сталеві штаби відбуваються пружні деформації самої штаби і валків в результаті чого абсолютне обтиснення зменшується, а товщина штаби h збільшується порівняно з умовами прокатки в абсолютно жорстких валках. Для свинцевих штаб ($\sigma_T = 10-15 \text{ Н/мм}^2$) сталеві валки є практично абсолютно жорсткими і пружні деформації валків практично відсутні. Товщина свинцевої штаби $h_{св}$ відповідає фактичному зазору між валками с дотриманням пружної віддачі штаби під дією зусилля прокатки. Зі сказаного очевидно, що якщо б валки мали абсолютну жорсткість, то при прокатуванні сталеві штаби отримаємо $h=h_{св}$ і тоді $l'_c=l_d$.

У реальних умовах прокатки сплющену довжину дуги контакту слід розраховувати за формулою

$$l'_c = \sqrt{R \cdot (H - h_{св})}; \quad (3.13)$$

$$l'_c = \sqrt{R_c \cdot (H - h)}. \quad (3.14)$$

У формулі (3.13) довжина дуги l'_c отримана в жорстких ватку, а у

вираженні (3.14) довжина дуги l_c отримана для фактичного обтиснення сталевих штаби у пружно деформованих валках з радіусом R_c .

Вирішуючи спільно вирази (3.13 і 3.14) отримаємо

$$\frac{R_c}{R} = \frac{H - h_{CB}}{H - h} = \frac{\Delta h_{CB}}{\Delta h}. \quad (3.15)$$

Повну довжину дуги контакту розраховують за формулою (3.6).

З формули (3.12) отримаємо формулу для розрахунку зусилля прокатки

$$P = \frac{4.75B(l_c^2 - R\Delta h)}{R}, \quad (3.16)$$

де l_c - відома величина сплющеної довжини дуги контакту.

Для проведення досліджень застосовують штаби товщиною $H = 1-2$ мм, шириною $B = 20-40$ мм, а свідки - шириною 5-10 мм (довжина штаб 150-200 мм). Штаби і свідки прокатують у валках діаметром $D = 250$ (200) мм.

Усі виміри і дані заносять до таблиці.

Контрольні запитання

1. При яких контактних напруженнях відбувається сплющення валків?
2. Які складові сплющеної дуги контакту?
3. Опишіть механізм пружної та пластичної деформації.
4. Від яких параметрів залежить напруження течії металу?
5. При яких видах прокатки має місце пружна деформація прокатних валків?
6. Які процеси виникають в осередку деформації через пружну деформацію валка?
7. Які марки сталі використовують для виготовлення прокатних валків?

Лабораторна робота № 4

КОЕФІЦІЄНТИ ДЕФОРМАЦІЇ І ЗАХВАТУ МЕТАЛУ ВАЛКАМИ ПРИ ПРОКАТУВАННІ

Мета роботи: дослідити геометрію осередку деформації при прокатуванні і параметри деформації при прокатуванні. Визначити умови захоплення металу валками.

Теоретичні відомості

Прокаткою називається процес деформації металу шляхом обтиску початкової заготовки між валками, що обертаються, з метою зменшення поперечного перетину заготовки і додання їй заданої форми (рис. 4.1.).

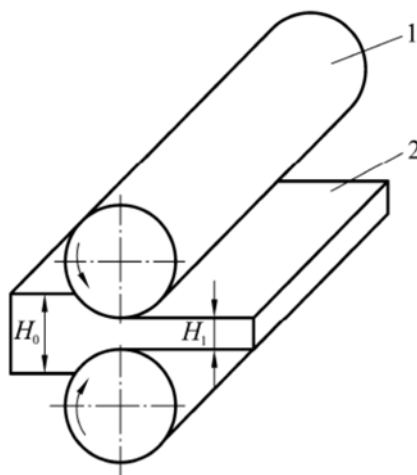


Рисунок 4.1 - Схема процесу поздовжньої прокатки

Прокатка - це один з найбільш поширених видів обробки металів тиском, якому піддається приблизно 80 % металу, що виплавляється. Широке застосування прокатки пояснюється рядом переваг її в порівнянні з іншими видами обробки тиском (пресуванням, волочінням), а також високою продуктивністю цього процесу і меншою вартістю отримуваних виробів [5].

При поздовжньому прокатуванні, яка найбільш поширена, деформація заготовки 2 здійснюється між валками, що обертаються в різні боки, 1, зазор між

якими менший, ніж початкова товщина заготовки. Процес прокатки вважають простим, або симетричним, якщо його здійснюють в гладких валках, що не калібруються, з паралельними осями, розташованими в одній площині. Обидва валки є приводними, мають рівні діаметри і обертаються в різні боки з однією окружною швидкістю. Стан поверхні обох валків однаковий, тобто однакові коефіцієнти і сили тертя на них. Нарешті, передбачається, що при прокатуванні піддають штабу прямокутного перетину з однорідними фізико-механічними властивостями у всім об'ємі і на неї діють сили тільки з боку валків.

При поздовжньому прокатуванні одночасно пластичної деформації піддається не весь об'єм оброблюваного металу, а тільки його невелика частина, що знаходиться поблизу валків. Тому об'єм прокатуваного металу, що знаходиться між площиною входу AA1 і площиною виходу BB1, називається геометричним осередком деформації (рис. 4.2.).

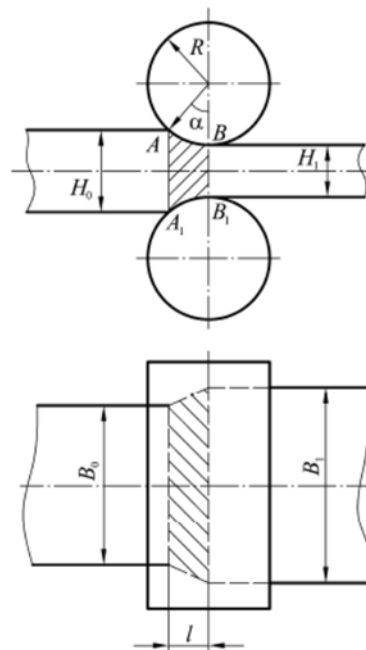


Рисунок 3.2 - Геометрія осередку деформації при прокатуванні

Дуга АВ, по якій метал, що деформується, контактує з валками, називається дугою захвату, а центральний кут α , відповідний дузі захвату, - кутом захвату. Проекція осередку деформації на горизонтальну вісь - це довжина осередку деформації.

При прокатуванні початкова штаба товщиною H_0 обтискується валками до товщини H_1 на величину абсолютного обтиск:

$$\Delta H = H_0 - H_1 \quad (4.1)$$

Оскільки діє умова нестискуваності металу, то відбувається збільшення довжини і ширини штаби. Таким чином, форму геометричного осередку деформації при прокатуванні характеризують кутом захвату α , висотами перетину H_0 і H_1 , довжиною осередку деформації l , а також початковою і кінцевою шириною штаби B_0 і B_1 . Для знаходження α і l використовують формули

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\Delta H}{D} \quad (4.2)$$

$$l \approx \sqrt{R \cdot \Delta H} \quad (4.3)$$

де R і D – відповідно радіус і діаметр валків.

Для оцінки величини деформації при прокатуванні використовують такі безрозмірні величини, як коефіцієнти обтиску η , уширення β , витяжки λ , які визначаються по наступних формулах:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{H_0}{H_1} \quad (4.4)$$

$$\beta = \frac{B_1}{B_0} \quad (4.5)$$

$$\lambda = \frac{L_1}{L_0} \quad (4.6)$$

де L_0 , L_1 - довжина заготівки, відповідно, до і після прокатки.

За законом постійності об'єму:

$$\eta \cdot \beta \cdot \lambda = \frac{V_1}{V_0} = 1 \quad (4.7)$$

де V_0 , V_1 – об'єм металу, відповідно, до і після прокатки.

Для оцінки інтенсивності деформації застосовують відносний обтиск ε_H , відносне уширення ε_B , відносне подовження ε_L :

$$\varepsilon_H = \frac{H_0 - H_1}{H_0} = \frac{\Delta H}{H_0} \quad (4.8)$$

$$\varepsilon_B = \frac{B_0 - B_1}{B_0} = \frac{\Delta B}{B_0} \quad (4.9)$$

$$\varepsilon_L = \frac{L_0 - L_1}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (4.10)$$

У практиці найчастіше для характеристики деформації при прокатуванні використовують коефіцієнт витяжки λ , що показує, у скільки разів збільшилася довжина заготовки після прокатки, і відносний ступінь обтиску ε :

$$\varepsilon = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \cdot 100\% \quad (4.11)$$

Якщо прокатку здійснюють за декілька проходів, то сумарний коефіцієнт витяжки $\lambda_{\text{сум}}$ визначають, як добуток коефіцієнтів витяжки після кожного проходу:

$$\lambda_{\text{сум}} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \dots \cdot \lambda_{n-1} \cdot \lambda_n \quad (4.12)$$

де n - число проходів при прокатуванні.

Захвату металу валками, що супроводжується зміною розмірів прокатуваної штаби, забезпечується наявністю контактної тертя між штабою і робочою поверхнею валків. Умову металу валками зазвичай розглядають для двох періодів прокатки: несталого і сталого. Перший період включає захват штаби валками (або примусову подачу її в щілину між валками) і заповнення області деформації до моменту утворення деякої довжини переднього кінця штаби за межами області деформації. В міру заповнення щілини між валками умови деформації металу безперервно змінюються, що дало підставу назвати даний період прокатки несталим. Розглянемо докладніше цей період (рис. 4.3.). При зіткненні штаби з валками, що обертаються, між ними виникає взаємодія. Валки діють на штабу нормальною силою N , прагнучи відштовхнути метал, і силою тертя T , що втягує його в зазор між валками.

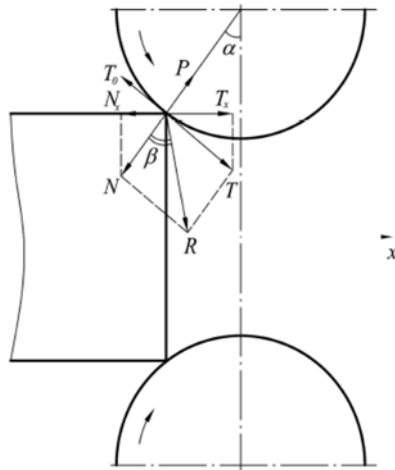


Рисунок 4.3 - Схема несталого періоду прокатки

У свою чергу штаба тисне на валки силою P і гальмує їх обертання силою T_0 . Для визначення захоплюючої здатності валків зіставляють дію сил N і T у напрямі прокатки, тобто порівнюють горизонтальні проекції цих сил:

$$T_x = T \cdot \cos\alpha \quad (4.13)$$

$$N_x = N \cdot \sin\alpha \quad (4.14)$$

При цьому можливі три випадки. При $T_x > N_x$ відбуватиметься захват; при $T_x = N_x$ спостерігається стан рівноваги, тобто валки обертатимуться, а штаба залишиться нерухомою (валки «буксують» по смузі). Нарешті, якщо $T_x < N_x$, то штаба відкидається від валків. З урахуванням виразів (4.13) і (4.14) умову захвату можна записати таким чином:

$$\frac{T \cdot \cos\alpha}{N \cdot \sin\alpha} > 1 \quad (4.15)$$

або

$$\frac{T}{N} > \operatorname{tg}\alpha \quad (4.16)$$

Якщо прийняти, що тертя в даному випадку підкоряється закону Амонтона-Кулона, тобто

$$T = \mu \cdot N \quad (4.17)$$

де μ - коефіцієнт тертя, то буде справедливим запис:

$$\mu > \operatorname{tg}\alpha \quad (4.18)$$

Оскільки при малих кутах $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$, то умову захвату можна перетворити так:

$$\mu > \alpha \quad (4.19)$$

Якщо узяти рівнодіючу сил T і N , позначивши її через R (рис. 4.3), то умова захвату прийме вигляд

$$\beta > \alpha \quad (4.20)$$

де β - кут тертя, що утворюється силами N і R .

Другий період прокатки починається з моменту виходу переднього кінця штаби через перетин виходу, а закінчується при досягненні заднім кінцем перетину виходу. Протягом всього часу протікання другого періоду параметри осередку деформації залишаються незмінними, тому другий період процесу прокатки називають сталим. Якщо прийняти, що в сталому періоді прокатки нормальна контактна напружка розподілена по довжині області деформації рівномірно, то результуюча сила дії валків на метал проходить через середину дуги захвату (рис. 4.4.).

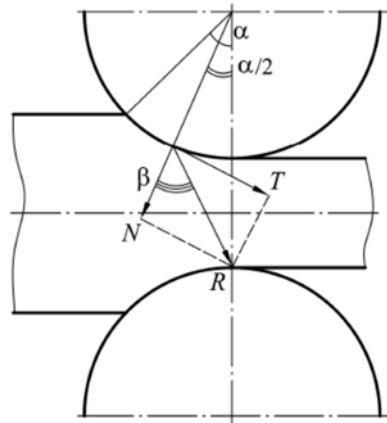


Рисунок 4.4 - Схема сталого періоду прокатки

Повторюючи попередні міркування, отримаємо умову захвату для сталого періоду прокатки в наступному вигляді:

$$\beta > \alpha / 2 \quad (4.21)$$

Порівнюючи вирази (4.20) і (4.21), можна встановити, що в сталому періоді прокатки захват металу валками, в порівнянні з несталим періодом,

полегшено удвічі. Однією з основних причин цього можна вважати те, що після заповнення зони деформації металом утворюється надмір сил тертя і тоді величину обтиску можна збільшити.

Між максимальним кутом захвату в початковий момент α_{max} і максимальним кутом при сталому процесі α^l_{max} існує певна залежність:

$$\frac{\alpha^l_{max}}{\alpha_{max}} = K^1 \approx 2 \quad (4.22)$$

Поліпшенню захвату металу валками сприяють наступні чинники:

- підвищення коефіцієнту тертя, наприклад, нанесенням насічок на валках, прокаткою у вакуумі або інертному середовищі;
- зниження величини обтиску;
- збільшення діаметру валків при даному обтисканні;
- використання заштовхуючої сили, направленої на заготівку уздовж осі;
- пристрій заходного клину (фрезерування переднього кінця заготівки під кутом) і так далі.

Необхідно відзначити, що хоча використання мастила утрудняє захват металу, холодну прокатку листів зазвичай ведуть з мастилом для отримання високої якості їх поверхні. Кути захвату при холодному прокатуванні з мастилом складають 3-4⁰, без мастила - 5-8⁰. При гарячому прокатуванні на обтискних станах (блюмінгах і слябінгах) $\alpha = 18-34^0$.

Матеріали, інструмент, устаткування

Два алюмінієвих і два свинцевих зразки розмірами приблизно $h_0 \times b_0 \times l_0 = 10 \times 30 \times 30$ мм, клиновидний свинцевий зразок (рис. 4.6) розмірами приблизно $h_0 \times b_0 \times l_0 = (15 \div 2) \times 30 \times 50$ мм, двовалковий стан з діаметром валків 100 мм, лінійка, штангенциркуль.

Порядок проведення роботи і зміст звіту

Дана робота розбита на 3 частини.

1. Обчислення коефіцієнтів деформації.

Зразок з алюмінію розміром $h_0 \times b_0 \times l_0$ розмітити перед прокаткою, як показано на рис. 4.5., замірявши товщину, ширину і довжину в намічених крапках.



Рисунок 4.5 - Розмітка зразка перед прокаткою

Потім зразок прокатати в п'ять проходів з обтиском біля одного міліметра за прохід. Після кожного проходу вимірювати h_i , ширину b_i і довжину l_i в тих же крапках. Провести розрахунки по формулах (4.1) - (4.12), заповнити табл. 4.1. і побудувати графіки залежності коефіцієнтів деформації від № проходу. Зробити висновки.

Таблиця 4.1 - Зведена таблиця дослідних даних

Номер проходу	h_i , мм	b_i , мм	l_i , мм	Δh_i , мм	F_i , мм ²	λ_i	η_i	β_i	ε_i
Вихідний									
1									
2									
3									
4									
5									

2. Визначення максимального кута захвату в несталому періоді прокатки.

Для досліді узяти два свинцевих і один алюмінієвий зразок і заміряти їх довжину, товщину, ширину. Одна з граней зразків повинна бути ретельно запилена під косинець. Поодинці свинцевий і алюмінієвий зразки прокатати на сухих, знежирених ацетоном валках, як вказано нижче. Валки встановити так, щоб зазор між ними був приблизно рівний 2 мм. Зразок покласти на стіл і за допомогою дерев'яного бруска злегка притиснути його обробленою гранню

до валків, що обертаються. Потім поволі піднімати верхній валок до тих пір, поки зразок не захопиться валками і прокатається. Далі валки змастити маслом і, аналогічно описаному вище, прокатати другий свинцевий зразок. Після цього заміряти товщину зразка до і після прокатки і заміряти діаметр валків. По формулі (4.2) визначити максимальний кут захвату в початковий момент α_{max} , а по формулі (4.19) приблизно коефіцієнт тертя μ . Всі дані занести в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Зведена таблиця дослідних даних

Матеріал зразку	Стан поверхні валків	h_0 , мм	h_1 , мм	Δh , мм	$\cos\alpha$	α_{max}	μ
Свинець	Сухі						
Алюміній	Сухі						
Свинець	Змащені						
Свинець (клин)	Сухі						

3. Визначення максимального кута захвату при сталому процесі.

Встановити зазор між валками приблизно 1-2 мм. Зразок зі свинцю, виготовлений у вигляді клину (рис. 4.6.), прокатати на сухих валках до тих пір, поки не почнеться пробуксовка валків по металу.

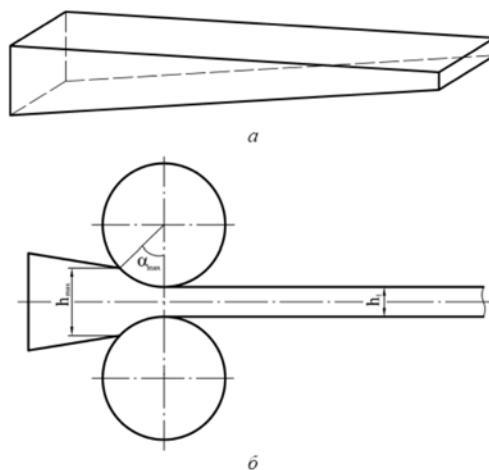


Рисунок 4.6 - Свинцевий зразок (клин) до і після (б) прокатки

Після цього стан зупинити, підняти верхній валок і витягувати недоказаний клин. Замірявши товщину прокатої частини клину h_1 і товщину

в місці пробуксовки h_0 (рис. 4.6.), по формулі (4.2) визначити максимальний кут захвату при сталому процесі α^l_{max} і порівняти його з початковим кутом захвату α_{max} (прокатка свинцевого зразку на сухих валках) по формулі (4.22). Закінчити заповнення табл. 4.2. Зробити висновки.

Контрольні запитання:

1. Яка геометрія осередку деформації при прокатуванні?
2. Які параметри деформації при прокатуванні?
3. Яка умова захвату металу валками?
4. Назвіть види поздовжньої прокатки і отримуваної продукції.
5. Яка класифікація прокатних станів?
6. Яка загальна характеристика устаткування лінії робочої кліті?

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПЕРЕДЖЕННЯ ПРИ ПРОКАТУВАННІ

Мета роботи: дослідити випередження при прокатуванні штаби, фактори, які на нього впливають. Вивчити експериментальні способи визначення випередження і порядок його розрахунку.

Теоретичні відомості

В процесі прокатки в зоні деформації відбувається ковзання металу щодо валків. Це приводить до того, що швидкість металу на виході з валків більше, а на вході у валки менше, ніж окружна швидкість валків. Таке явище називається, відповідно, випередженням і відставанням. Зона, або осередок деформації, складається із зони випередження і зони відставання (рис. 5.1.).

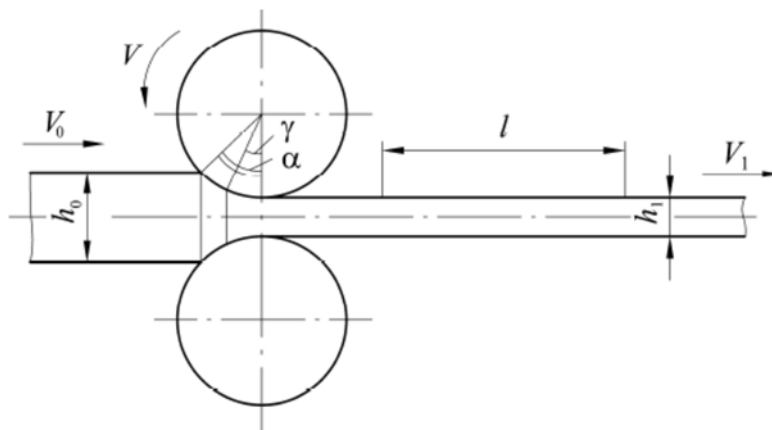


Рисунок 5.1 - Схема визначення випередження

Ці дві зони розділяються нейтральним перетином, положення якого характеризується нейтральним кутом γ . Випередження є швидкісним параметром процесу прокатки, який в значній мірі визначає характер розподілу і величину тиску прокатки. Це явище грає особливо велику роль при прокатуванні в багатоклітьових безперервних станах.

Позначимо швидкість входу металу у валки V_0 , швидкість виходу металу з валків V_1 , а окружну швидкість валків V (рис. 5.1.). У нейтральному перетині

швидкості металу і валків однакові. Випередження S виражається у відсотках і може бути знайдене по формулі

$$S = \frac{V_1 - V}{V} \cdot 100\% \quad (5.1)$$

Якщо відомо положення нейтрального перетину (тобто кут γ), то випередження можна знайти по формулі Дрездена:

$$S = \frac{R}{h_1} \cdot \gamma^2 \quad (5.2)$$

де R - радіус валків, мм; h_1 - товщина штаби після прокатки, мм; γ - нейтральний кут, рад.

Кут γ можна визначити по формулі І.М. Павлова:

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta}\right) \quad (5.3)$$

де α - кут захвату, рад.; β - кут тертя, чисельно дорівнює коефіцієнту тертя.

Коефіцієнт випередження ξ визначається по формулі

$$\xi = 1 + S \quad (5.4)$$

Тоді швидкість входу металу у валкі V_0 буде дорівнювати

$$V_0 = \frac{\xi}{\lambda} \cdot V \quad (5.5)$$

де $\frac{\xi}{\lambda}$ - відставання.

Швидкість виходу металу складе:

$$V_1 = \xi \cdot V \quad (5.6)$$

де V - окружна швидкість валків, дорівнює

$$V = \frac{\pi D}{t} \quad (5.7)$$

де t - час, необхідний для одного оберту валка; D - діаметр валка.

Випередження можна знайти і дослідним шляхом. На валок керном наносять мітку. При прокатуванні ця мітка залишить відбиток на смузі (рис.

5.1.). Оскільки відстань між відбитками на смузі більше довжини кола валка, то випередження складе

$$S = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\% \quad (5.8)$$

де l_1 - відстань між двома мітками на смузі; l_0 - довжина кола валка.

На випередження впливають коефіцієнт тертя, товщина штаби, величина обтиску, діаметр валків тощо. При прокатуванні металу у вакуумі величина випередження менша, ніж при прокатуванні на повітрі, оскільки коефіцієнт тертя при прокатуванні у вакуумі вище, що пояснюється виникненням зон прилипання в осередку деформації. При обтисненні 30 % і температурі прокатки 1000⁰С випередження на повітрі в 1,2 рази більше, ніж у вакуумі.

Матеріали, інструмент, устаткування

Дві алюмінієві штаби розміром 3×40×500 мм, мінеральне мастило; ефір або спирт, двовалковий стан з діаметром валків 200 мм, лінійка, штангенциркуль, секундомір; чотири алюмінієві зразки товщиною $h_0 = 2,0$; 2,5; 3,0 і 3,5 мм, шириною $b_0 = 30$ мм і довжиною $l_0 = 500$ мм.

Порядок проведення роботи і зміст звіту.

Дана робота розбита на 2 частини

I. *Визначення впливу коефіцієнту тертя і товщини штаби на випередження*, коли здійснюється наступне:

1. Дві алюмінієві штаби розміром 3×40×500 мм прокатати в п'ять проходів. При цьому одну штабу прокатувати в сухих валках, а другу - у валках, змащених машинним мастилом. Обтиск за прохід повинне бути постійним: $\Delta h = 0,5 - 0,7$ мм.

2. При прокатуванні за допомогою секундоміра заміряти час одного оберту валка.

3. До і після кожного проходу заміряти товщину штаб і відстань між відбитками на штабах l_1 . Для знаходження довжини кола валка l_0 використовувати формулу

$$l_0 = \pi D \quad (5.9)$$

4. По формулам (5.2) і (5.8) знайти випередження, а по формулам (5.5), (5.6) швидк металу на вході у валки і на виході з валків. Коефіцієнти тертя при холодному прокатуванні алюмінію з мастилом прийняти $\mu = 0,08 - 0,09$, без мастила - $0,2 - 0,25$. Кут захвату визначити по формулі

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} \quad (5.10)$$

Дані занести до табл. 5.1, побудувати графіки залежності випередження від коефіцієнту тертя і товщини штаби, зробити висновки.

Таблиця 5.1 - Зведена таблиця дослідних даних для частини 1

№ проходу	h_0 , мм	h_1 , мм	Δh , мм	l_1 , мм	α , рад	γ , рад	S дослідне	S розрах.	V_0 м/с	V_1 м/с
Прокатки в сухих валках										
1										
2										
3										
4										
5										
Прокатки у валках, змащених машинним мастилом										
1										
2										
3										
4										
5										

II. *Визначення впливу величини обтиску на випередження, яке здійснюється таким чином:*

1. Чотири алюмінієві зразки товщиною $h_0 = 2,0; 2,5; 3,0$ і $3,5$ мм, шириною $b_0 = 30$ мм і довжиною $l_0 = 500$ мм прокатати за один прохід до товщини $h_1 = 1,7$ мм в сухих валках.

2. Зміряти товщину штаб після прокатки і відстань між відбитками.

3. По формулам (5.2) - (5.8) знайти випередження, швидкості входу і виходу штаб з валків, коефіцієнти випередження для всіх випадків.

4. Дані занести в табл. 5.2, побудувати графіки залежності випередження від величини обтиснення, зробити висновки.

Таблиця 5.2 - Зведена таблиця дослідних даних для частини 2

$h_0, \text{мм}$	$h_1, \text{мм}$	$\Delta h, \text{мм}$	$l_1, \text{мм}$	S дослідне	S розрах.	ξ	V_0 м/с	V_1 м/с

Контрольні питання:

1. Що таке випередження?
2. Які чинники впливають на випередження?
3. Для чого необхідний облік випередження в процесах прокатки?
4. Які експериментальні способи визначення випередження?
5. Визначити порядок розрахунку випередження.

Перелік літератури

1. Серeda Б.П. Технологічний інструмент обробки металів тиском: методичні вказівки до лабораторного практикуму [Текст] / Б.П. Серeda, Ю.О. Белоконь, А.М. Онiщенко. - Запорiжжя, ЗДiА, 2011. – 52 с.
2. Королев, А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов [Текст] / А.А. Королев. - М.: Металлургия, 1985. - 376 с.
3. Николаев, В.А. Теория прокатки полос [Текст] / В.А. Николаев. – Запорожье, ЗГИА, 2014. – 259 с.
4. Третьяков, А.А. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением [Текст] / А.А. Третьяков, В.И. Зюзин. - М.: Металлургия, 1973. – 224 с.
5. Грудев, А.П. Теория прокатки [Текст] / А.П. Грудев. - М.: Металлургия, 1988. – 240 с.