

Практична робота № 1. Розрахунок листового валка

Валки - це робочий інструмент прокатного стану, що виконує деформацію (обтиснення) металу з метою надання йому необхідної форми поперечного перетину. Основні елементи валка (рис 1.1): робоча частина валка (бочка), шийка, кінцева частина. Залежно від форми робочої частини валки розділяються на листові й сортові. Листові валки встановлюють у клітях листових станів і вони мають бочку циліндричної форми. Сорткові валки служать для прокатки сортових профілів і мають на робочій частині поглиблення (струмки). Струмки двох суміжних валків утворюють калібр, що відповідає профілю прокату (наприклад, квадрату).

Шийка валка повинна бути циліндричної або конічної залежно від типу підшипника, установлюваного на ній. Кінцева частина призначена для з'єднання валка зі шпинделем, виконується у вигляді лопаті або циліндричної зі шліцами.

Розрахунки валків на міцність і деформацію виконуються як перевірочні, після попереднього вибору їхніх розмірів (сорткові валки розраховують тільки на міцність).

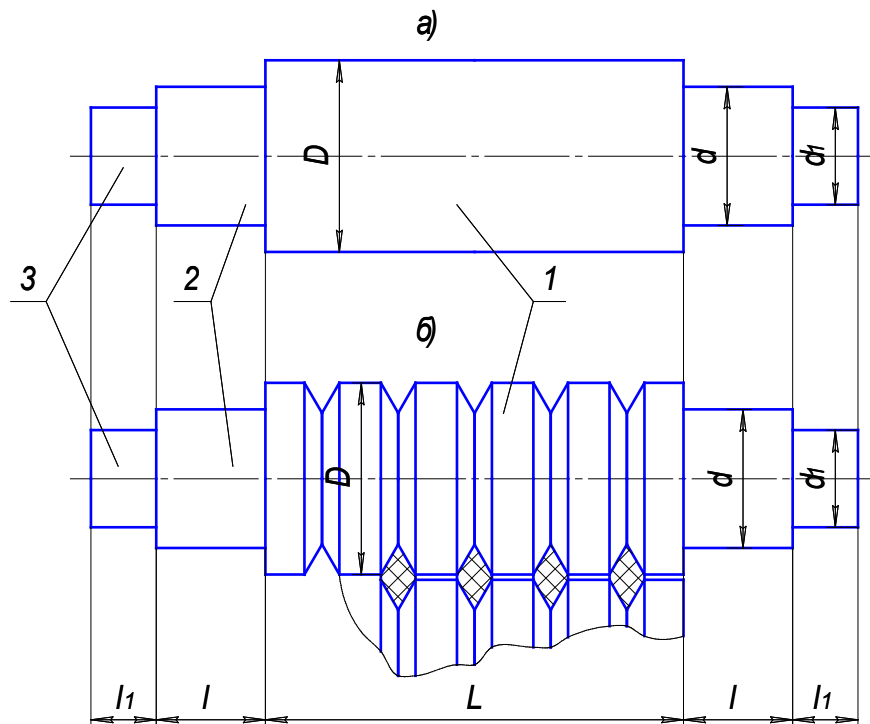


Рисунок 1.1 Валки прокатних станів:

а - листовий валок; б - сортвий валок;

1 - робоча частина валка; 2 - шийка валка; 3 - кінцева частина валка

Для сортових валків і валків товстолистових станів діаметр бочки вибирається за умовою захоплення.

$$D > \frac{\Delta h}{1 - \cos \alpha} \approx \frac{2\Delta h}{\alpha^2}.$$

припустимий кут захоплення α визначається станом поверхні валків, станом металу, що прокатується, і перебуває в межах $15-34^\circ$.

Для листових станів холодної прокатки діаметр бочки вибирають із умови прокатки листа мінімальної товщини [2]:

$$D \leq (1500 \dots 2000) h_{\min}.$$

Довжина бочки сортових валків визначається умовами калібрування й перебуває в залежності

$$L = (1,5 \dots 2,7) \cdot D;$$

довжина бочки листових валків визначається максимальною шириною прокатного листа B :

$$L = B + (100 \dots 400).$$

Діаметр шийки валків вибирають залежно від типів підшипників у межах

$$d = (0,55 \dots 0,75) \cdot D.$$

Довжину шийки приймають рівної її діаметру.

Діаметр кінцевої частини приймають $d_1 = d - 10 \text{ мм}$. Інші розміри кінцевої частини уточнюють розрахунком з урахуванням її форми.

При перевірці міцності валка бочку розраховують тільки на вигин, шийку - на вигин і крутіння, кінцеву частину - на крутіння. З обліком цього й даних рис 1.2 умовами міцності будуть:

для бочки
$$\sigma_B = \frac{M_B}{0,1 D^3} < [\sigma];$$

для шийки
$$\sigma_{ш} = \sqrt{\sigma_{шв}^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq [\sigma];$$

де
$$\sigma_{шв} = \frac{M_{ш}}{0,1 \cdot d^3}; \quad \tau = \frac{M_p}{0,2 \cdot d^3}.$$

для кінцевої частини циліндричної форми

$$\tau_1 = \frac{M_p}{0,2 \cdot d_1^3} \leq [\tau]$$

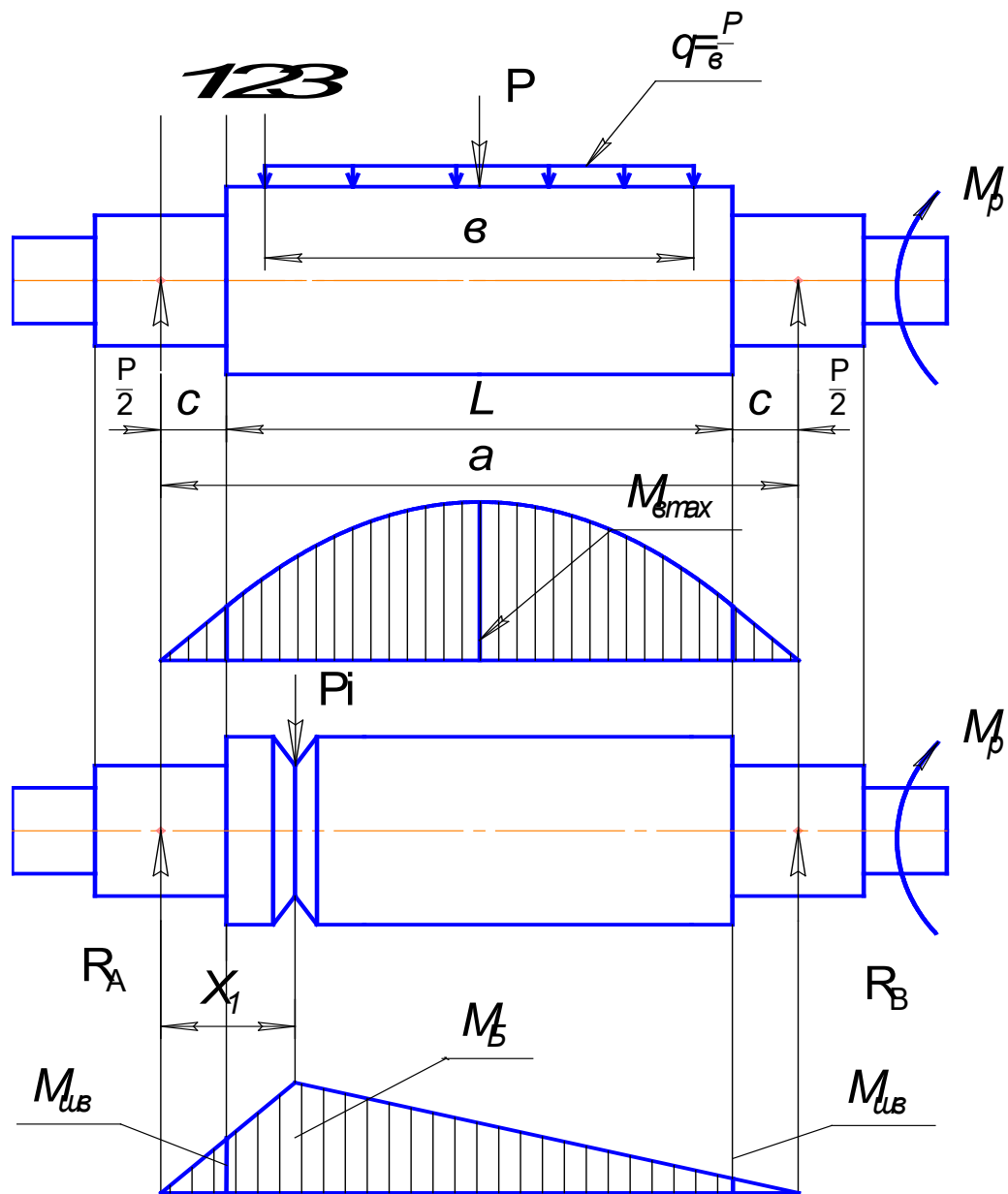


Рисунок 1.2 - Розрахункові схеми валків і епюри згинальних моментів

Розрахункові згинальні моменти M_B і $M_{ш}$ визначаються побудовою епюр згинальних моментів (рис. 1.2). Для бочки листового валка небезпечний перетин перебуває посередині:

$$M_B = P \cdot \left(\frac{a}{4} - \frac{b}{8} \right);$$

для сортового валка

$$M_B = R_A \cdot X_i = P \frac{a - x_i}{a} X_i.$$

Для бочки сортового валка небезпечний перетин можливий в одному з калібрів. Через незалежну зміну сили прокатки і її плеча X_i для точного виявлення небезпечного перетину розрахунок варто виконувати для всіх калібрів.

Величина $M_{ш}$ для листового валка визначається як:

$$M_{ш} = \frac{P \cdot c}{2};$$

для сортового валка:

$$M_{ш} = R_B \cdot c = P_i \left(\frac{X_i}{a} \right) \cdot c.$$

Допустиме напруження приймають із п'ятикратним запасом стосовно межі міцності σ_B матеріалу валка.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{5}.$$

Дотичне допустиме напруження можна прийняти

$$[\tau] = 0,6[\sigma].$$

Розрахунок листових валків на деформацію полягає у визначенні прогинів валка під дією зусилля прокатки й у порівнянні цих прогинів із допустимими.

Умовою твердості валка буде:

$$f = f_1 + f_2 \leq [f],$$

де f_1 - прогин валка від дії згинального моменту;

f_2 - прогин валка від дії перерізуючих сил.

Відповідно теоремі Кастильяно

$$f_1 = \frac{1}{E} \int \frac{1}{I_x} M_x \cdot \frac{\partial M_x}{\partial P} dx; \quad f_2 = \frac{1}{G} \int \frac{1}{F_x} Q_x \cdot \frac{\partial Q_x}{\partial P} dx; \quad (1.1)$$

де E - модуль пружності матеріалу валка;

G - модуль зрушення матеріалу валка;

M - функція зміни моменту по довжині валка;

Q - функція зміни перерізуючої сили по довжині валка;

I_x - функція зміни моменту інерції перетину по довжині валка;

F_x - функція зміни площі перетину по довжині валка.

Щоб виконати інтегрування виражень (1.1), функції, що знаходяться під інтегралом, повинні бути безперервними. Виходячи із цього, інтегрування ведемо по трьох ділянках: I, II і III (рис.1.2).

Для першої ділянки (межі інтегрування від 0 до C)

$$M_x = P_x / 2; \quad Q_x = P / 2; \quad I_x = I_1; \quad F_x = F_1;$$

для другої ділянки (межі інтегрування від C до $(a - b) / 2$)

$$M_x = P_x / 2; \quad Q_x = P / 2; \quad I_x = I_2; \quad F_x = F_2;$$

для третьої ділянки (межі інтегрування від $(a - b) / 2$ до $a / 2$)

$$M_x = \frac{P}{2} x - \frac{q}{2} \left(x - \frac{(a - b)^2}{2} \right); \quad Q_x = \frac{P}{2} - q \left(x - \frac{(a - b)}{2} \right);$$

$$I_x = I_2; \quad F_x = F_2.$$

Для всіх ділянок

$$\frac{\partial M_x}{\partial P} = \frac{x}{2}; \quad \frac{\partial Q_x}{\partial P} = \frac{1}{2}.$$

У даних вираженнях:

F_1 і I_1 - відповідно площа й моменти інерції перетину шейки;

F_2 і I_2 - відповідно площа й момент інерції перетину бочки.

Після підстановки й інтегрування виражень (1.1) у зазначених межах одержимо формули А.І. Целікова [2]:

$$f_1 = \frac{P}{384 \cdot E \cdot I_1} \left[8a^3 - 4av^2 + v^3 + 64c^3 \left(\frac{I_1}{I_2} - 1 \right) \right]$$

$$f_2 = \frac{P}{4 \cdot G \cdot F_2} \left[a - \frac{v}{2} + 2c \left(\frac{F_2}{F_1} - 1 \right) \right]$$

сумарні допустимі прогини [2]:

$$[f] = 0,05 - 0,2 \text{ мм} - \text{при холодній прокатці};$$

$$[f] = 0,3 - 1 \text{ мм} - \text{при гарячій прокатці}.$$

У клітей "кварто", як показує аналіз [2], основна частина навантаження передається на опорний валок, тому його звичайно розраховують на вигин від дії повної величини зусилля прокатки Р і оскільки приводним звичайно є робочий валок, його розраховують тільки на крутіння. Крім того, сполучення опорного й робітника валків перевіряють на контактну міцність за умовою [2]

$$\sigma_K = 0,59 \sqrt{\frac{E_{\text{ПР}}}{R_{\text{ПР}}}} q \leq [\sigma_K]$$

де $E_{\text{ПР}}$ - наведений модуль пружності матеріалу валків;

$R_{\text{ПР}}$ - наведений радіус валків.

Допустима напруга приймається в межах $[\sigma_K] = 3\sigma_T$,

де σ_T - границя текучості матеріалу валка

Приклад розрахунку листового валка на міцність

Використовуючи вихідні дані, для кліті холодної прокатки **листа** необхідно:

- підібрати необхідні розміри валків;
- перевірити міцність валків;

Для всіх варіантів форма кінцевої **частини** валка циліндрична **зі** шліцями.

Вихідні дані для розрахунку:

1. Середній питомий тиск $P_{cp}=240 \text{ Н/мм}^2$
2. Максимальна величина обтиснення $\Delta h = 1,8\text{мм}$
3. Ширина листа $B = 1100\text{мм}$
4. Мінімальна товщина листа $h_{\min}=0,5\text{мм}$
5. Межа міцності матеріалу валка $\sigma_B = 600 \text{ Н/мм}^2$
6. Крутний момент, переданий шпинделем $M_p = 1,3 \text{ МНм}$

Визначення необхідних розмірів валка

$$D \leq (1500 \dots 2000)h_{\min} = (1500 \dots 2000) \cdot 0,5 = 750 \dots 1000 \text{мм},$$

приймаємо $D = 1000 \text{мм},$

$$L = b + (100 \dots 400) = 1100 + 200 = 1300 \text{мм};$$

$$d = (0,55 \dots 0,75) \cdot D = 0,75 \cdot 1000 = 750 \text{мм};$$

$$l = d = 750 \text{мм}; \quad d_1 = d - 10 = 750 - 10 = 740 \text{мм};$$

$$c = \frac{l}{2} = \frac{750}{2} = 375 \text{мм}, \quad a = L + 2c = 1300 + 2 \cdot 375 = 2050 \text{мм}$$

Сила, що діє на валки

$$P = P_{cp} \cdot b \cdot \sqrt{\Delta h \cdot R} = 240 \cdot 1100 \sqrt{1,8 \cdot 500} = 7,92 \cdot 10^6 \text{ Н},$$

Перевірка міцності валка

Умовами міцності будуть:

для бочки:
$$\sigma_B = \frac{M_B}{0,1 \cdot D^3} \leq [\sigma]$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{5} = \frac{600}{5} = 120 \text{МПа}$$

$$M_B = P \cdot \left(\frac{a}{4} - \frac{b}{8} \right) = 7,92 \cdot 10^6 \left(\frac{2050}{4} - \frac{1100}{8} \right) = 2,97 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм},$$

тоді напруга вигину буде

$$\sigma_B = \frac{M_B}{0,1 \cdot D^3} = \frac{2,97 \cdot 10^9}{0,1 \cdot 1000^3} = 29,7 \text{МПа} < 120 \text{МПа}$$

умова виконується.

для шийки:

$$\sigma_{\text{ш}} = \sqrt{\sigma_{\text{id}}^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq [\sigma]$$

Момент на шийку валка:

$$M_{\text{ш}} = \frac{P \cdot c}{2} = \frac{7,92 \cdot 10^6 \cdot 375}{2} = 1,485 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Напряга на шийку валка:

$$\sigma_{\text{шв}} = \frac{M_{\text{ш}}}{0,1 \cdot d^3} = \frac{1,485 \cdot 10^9}{0,1 \cdot 750^3} = 35,2 \text{ МПа}$$

Дотичне напруження шийки валка

$$\tau = \frac{M_p}{0,2 \cdot d^3} = \frac{1,3 \cdot 10^9}{0,2 \cdot 750^3} = 15,4 \text{ МПа}$$

тоді міцність шийки:

$$\sigma_{\text{ш}} = \sqrt{\sigma_{\text{шв}}^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{35,2^2 + 3 \cdot 15,4^2} = 44,16 \text{ МПа} < 120 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

для кінцевої частини циліндричної форми:

$$\tau_1 = \frac{M_p}{0,2 \cdot d_1^3} = \frac{1,3 \cdot 10^9}{0,2 \cdot 740^3} = 16,04 \text{ МПа} \leq [\tau]$$

Дотична допустима напряга

$$[\tau] = 0,6[\sigma] = 0,6 \cdot 120 = 72 \text{ МПа}$$

$$\tau_1 = 16,04 \text{ МПа} < [\tau] = 72 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

1.4 Приклад розрахунку листового валка на деформацію

Вихідні дані для розрахунку:

1. Сила, що діє на валки $P_1 = 7,92 \cdot 10^6 \text{ Н}$;

2. Момент інерції перетину шийки валка:

$$I_1 = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,75^4}{64} = 0,0155 \text{ м}^4$$

3. Момент інерції **перетину** бочки валка:

$$I_2 = \frac{\pi \cdot D^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 1^4}{64} = 0,049 \text{ м}^4$$

4. **Площа перетину** шийки валка:

$$F_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,75^2}{4} = 0,44 \text{ м}^2$$

5. **Площа перетину** бочки валка:

$$F_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} = 0,785 \text{ м}^2$$

6. Модуль пружності матеріалу валка, $E=2,1 \cdot 10^5$ Н/мм²

7. Модуль **зрушення** матеріалу валка, $G=0,75 \cdot 10^5$ Н/мм²,

Геометричні параметри a , b , c **наведені** раніше.

Визначення прогинів **листового** валка

$$f_1 = \frac{P}{384 \cdot E \cdot I_1} \left[8a^3 - 4av^2 + v^3 + 64c^3 \left(\frac{I_1}{I_2} - 1 \right) \right] =$$
$$\frac{7,92 \cdot 10^6}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,0155} \cdot \left[8 \cdot 2,05^3 - 4 \cdot 2,05 \cdot 1,1^2 + 1,1^3 + \right.$$
$$\left. + 64 \cdot 0,375^3 \left(\frac{0,0155}{0,049} - 1 \right) \right] = 3,68 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,368 \text{ мм}$$

$$f_2 = \frac{P}{4 \cdot G \cdot F_2} \left[a - \frac{v}{2} + 2c \left(\frac{F_2}{F_1} - 1 \right) \right] =$$
$$= \frac{7,92 \cdot 10^6}{4 \cdot 0,75 \cdot 10^{11} \cdot 0,785} \left[2,05 - \frac{1,1}{2} + 2 \cdot 0,375 \left(\frac{0,785}{0,44} - 1 \right) \right] =$$
$$= 7,02 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 0,0702 \text{ мм}$$

Сумарний прогин валка:

$$f = f_1 + f_2 = 0,368 + 0,0702 = 0,4382 \text{ мм}$$

$$f = 0,4382 < [f] = 0,3 \dots 1 \text{ мм}$$

що припустимо для сумарного прогину при гарячій прокатці **листа**.

ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Використовуючи вихідні дані, наведені в таблиці 1.1

необхідно для кліті холодної прокатки листа:

- підібрати необхідні розміри валків;
- перевірити міцність валків;
- перевірити твердість валків;

Для всіх варіантів форма кінцевої частини валка циліндрична зі шліцами.

1. Основні варіанти

Таблиця 1.1

№ п/п	Найменування параметра	Позначення	Одиниця	Варіант				
				1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Максимальна величина обтиснення	Δh	мм	0,5	1,0	1,5	1,8	2,0
2	Ширина листа	B	мм	1750	1500	1250	1100	900
3	Середній питомий тиск	P_{CP}	Н/мм ²	250	300	220	280	300
4	Мінімальна товщина листа	h_{min}	мм	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25
5	Межа міцності матеріалу валка	σ_B	Н/мм ²	600	650	650	600	650

2. Додаткові варіанти

1	Максимальна величина обтиснення	Δh	мм	1А	2А	3А	4А	5А
				0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
2	Ширина листа	B	мм	1900	1800	1600	1500	1400

1	Максимальна величина обтиснення	Δh	мм	1Б	2Б	3Б	4Б	5Б
				0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
2	Ширина листа	B	мм	1600	1500	1400	1300	1200

1	Середній питомий тиск	P_{CP}	Н/мм ²	1В	2В	3В	4В	5В
				310	280	260	240	220
2	Мінімальна товщина листа	h_{min}	мм	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

Примітка: не наведені в додаткових варіантах параметри беруться по основному варіанті.