2 РОЗШИРЕННЯ МЕТАЛУ В КАЛІБРАХ

При прокатуванні висотна деформація викликає зміщення металу в подовжньому і поперечному напрямах. Співвідношення між поперечною і подовжньою деформаціями металу $k_y=\Delta b/\Delta h$ менше одиниці і метал розкату переважно переміщається в подовжньому напрямі. При цьому, чим більше це переміщення (менше коефіцієнт k_y), тим ефективніше процес подовжнього прокатування.

Розширення – небажане (негативне), але неминуче явище. Величина розширення незначна при прокатуванні тонких розкатів (тим більше широких) і грає істотну роль при прокатуванні середніх по товщині і високих розкатів, у тому числі і широких (блюми, сляби, товсті листи). Наявність неконтрольованого розширення призводить до збільшення бічних обрізків при прокатуванні листового металу. Ускладнює розрахунок формозміни металу при проектуванні калібрувань валків, а саме розрахунку розмірів ширини калібрів. Цим можна пояснити, що найбільший об'єм теоретичних досліджень присвячений саме пошуку і розробці прийнятних залежностей, що дають можливість заздалегідь розрахувати близькі до практичних величини розширень і потім реальні розміри калібрів.

2.1 Розрахунок розширення розкату у гладких валках

Для розрахунку розширення розкату при прокатуванні в гладких валках часто використовують формули О.П. Чекмарьова [1] і О.І. Целікова [7] відповідно:

$$\Delta b_1 = \frac{\Delta h \cdot B_{cp}/h_{cp}}{1+(1+\alpha)(B_{cp}/l_d)^n} \qquad (2.1)$$

$$\Delta b_2 = C_B\left(l_d - \frac{\Delta h}{2f}\right)\Phi\left(\frac{\Delta h}{H}\right), \qquad (2.2)$$

де α – кут контакту; n – тут показник степені (n = 1 – при $B_{cp}/l_d \le 1$; n = 2 – при $B_{cp}/l_d > 1$); f – коефіцієнт тертя;

C_B – коефіцієнт, що враховує вплив ширини розкату, введений у формулу (2.2) О.І. Грішковим; Ф (h/H) – функція обтиснення; h_{CP} – тут середня висота осередку деформації.

З урахуванням залежності Экелунда-Павлова між кутами контакту, тертя і критичного перерізу [7,8], формула (2.2) набирає вигляду

$$\Delta b_2 = C_B l_d \left(1 - \frac{\alpha}{2f}\right) \Phi\left(\frac{\Delta h}{H}\right)$$

або

$$\Delta b_2 = C_B l_d \frac{2\gamma}{\alpha} \Phi\left(\frac{\Delta h}{H}\right), \qquad (2.3)$$

де γ – кут критичного перерізу.

З формули (2.3) виходить, що розширення зростає зі збільшенням параметра $2\gamma/\alpha$. Формули (2.2) і (2.3) отримані за умови гіпотези «плоских перерізів» І.М. Павлова і, отже, дають найбільш точні значення при прокатуванні зі $B_{cp}/l_d > 3$. Нерівномірність деформації металу по висоті осередку деформації збільшує значення $2\gamma/\alpha$ і величину розширення. Проте формула (2.3) не враховує вплив нерівномірності висотної деформації і дає істотну помилку при $l_d / h_{cp} < 3$.

Вивід формули із закону найменшого опору течії металу

Згідно із *законом найменшого опору* течія металу в подовжньому і поперечному напрямах, переміщення металу обернено пропорційне до опору [8]

$$\frac{\ln \lambda}{\ln \beta} = \frac{Q_y / l_d \cdot h_{CP}}{T_{X1} + T_{X2} \ / B_{CP} \cdot h_{CP}} \qquad (2.4)$$

де β – коефіцієнт розширення; λ – коефіцієнт подовження; Q_y – сили опору переміщенню металу в поперечному напрямі; T_{X1} і T_{X2} – контактні сили тертя опору переміщенню металу в

подовжньому напрямі відповідно в зонах відставання і випередження.

Опори Q_y, T_{x1} і T_{x2} для одного валка можна визначити з відомих формул. Приймаємо закон тертя Амонтона ($\tau = f \cdot p_{CP}$) і замінюючи повні сили через контактне напруження отримаємо:

$$\left.\begin{aligned} Q_y &= f_b \cdot p_{cp} \cdot B_{cp} \cdot l_d; \\ T_{x1} &= f \cdot p_{cp} \cdot B_{cp} \cdot R\,(\alpha - \gamma) \cos\left(\frac{\alpha + \gamma}{2}\right) \\ T_{x2} &= f \cdot p_{cp} \cdot B_{cp} \cdot R\,\gamma \cdot \cos\gamma/2; \end{aligned}\right\} \qquad (2.5)$$

де f_b, f – коефіцієнти тертя в поперечному і подовжньому напрямах; B_{CP} – середня ширина розкату; R – середній радіус валка; p_{CP} – середнє нормальне контактне напруження в осередку деформації.

Після підстановки у формулу (2.4) і перетворень отримаємо

$$\ln \lambda / \ln \beta = f_b \cdot B_{cp} / f \cdot l_d.$$

Зважаючи на те, що $\ln \lambda = \ln 1/\eta - \ln \beta$, то

$$\ln \beta / \ln 1/\eta = 1/\left(1 + \frac{f_b}{f} \cdot \frac{B_{cp}}{l_d}\right), \qquad (2.6)$$

де $1/\eta = H/h$ – коефіцієнт висотного обтиснення.

Оскільки $\ln \beta \approx \Delta\, b/B_{cp}$ и $\ln 1/\eta \approx \Delta\, h/h_{cp}$, то після замін у формулі (2.6) будемо мати (для гладких валків)

$$\Delta b = \frac{\Delta h \cdot \dfrac{B_{CP}}{h_{CP}}}{1 + \dfrac{f_b}{f} \cdot \dfrac{B_{CP}}{l_d}} \qquad (2.7)$$

Формулу (2.7) складно використати для розрахунку розширення внаслідок відсутності даних про коефіцієнт тертя f_b, характерним для поперечної течії металу в осередку деформації. Проте формула (2.7) показує, що величина розширення обумовлена не абсолютним значенням коефіцієнта тертя, а співвідношенням коефіцієнтів тертя в поперечному і подовжньому напрямах.

З формули (2.7) також виходить, що при $f_b \cdot B_{cp}/f \cdot l_d = \text{const}$ основним параметром що визначає розширення являється параметр $m=\Delta h \cdot B_{cp}/h_{cp}$. На підставі експериментальних даних різних досліджень показано, що розширення лінійно залежить від параметра m (рис.2.1), а вплив B_{cp}/l_d на розширення представлено на рис.2.2 [8]. (Дослідні дані І.М. Павлова, О.П. Чекмарева, Л.Ф. Машкіна, Д.І. Старченко, О.І. Грішкова, Ю.М. Чижикова, С. Экелунда та ін. Дослідні точки не проставлені).

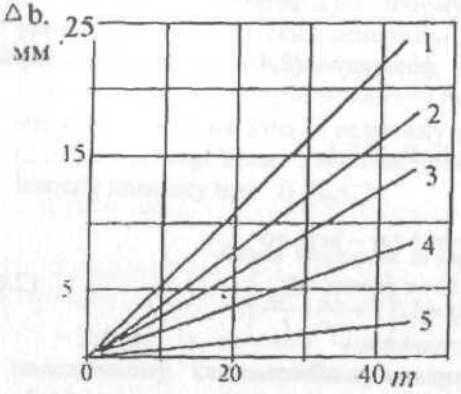

Рисунок 2.1 - Зміна дослідного розширення залежно від параметра ***m*** *при прокатуванні в гладких валках для B_{cp}/l_d: 1 - 0,80; 2 - 0,95; 3 - 1,15; 4 - 1,4...1,75; 5 - 2,0...3,0*

Як виходить з рис.2.1, розширення Δb лінійно зростає зі збільшенням параметра $m=\Delta h \cdot B_{cp}/h_{cp}$ незалежно від відношення B_{cp}/l_d. Збільшення розширення обумовлене збільшенням зміщеного об'єму по висоті металу (обтиснення) і підвищення опору течії металу в подовжньому напрямі за рахунок збільшення довжини дуги контакту і подовжнього напруження σ_3, що підпирає.

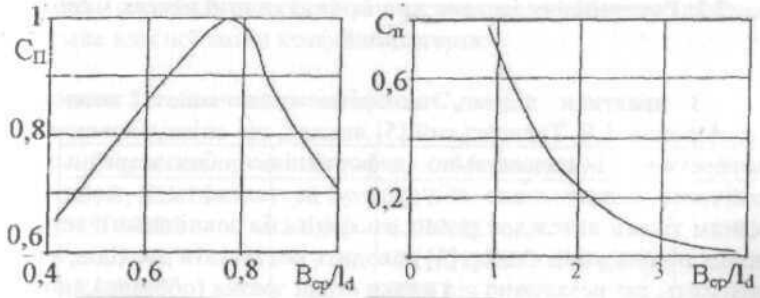

Рисунок 2.2 - Зміна коефіцієнта $C_п$ під впливом ширини розкату ($B_{ср}/l_d$) при m < 50

Останнє ж обумовлює збільшення розширення зі зменшенням відношення $B_{ср}/l_d$ в області зміни $B_{ср}/l_d \approx 0,8 \ldots 4$ (широкий осередок деформації). При прокатуванні з вузьким осередком деформації ($B_{ср}/l_d < 0,8$) - розширення зменшується зі зменшенням $B_{ср}/l_d$ і поперечного напруження σ_2. що підпирає (рис. 2.2).

Математична обробка залежностей рис.2.1, 2,2 дає наступні формули (з урахуванням коефіцієнта $C_М$) :

$$\Delta b = 0,53 \cdot C_П \cdot C_М \cdot \Delta h \cdot B_{СР}/h_{СР}. \qquad (2.8)$$

$$\left.\begin{array}{l} при \dfrac{B_{ср}}{l_d} \le 0,8 \text{ - } C_П = 0,24 + \dfrac{B_{ср}}{l_d}; \\ при \dfrac{B_{ср}}{l_d} > 0,8 \text{ - } C_П = e^{-\left(1,2\frac{B_{СР}}{l_d} - 0,9\right)^{0.9}} \end{array}\right\} \qquad (2.9)$$

Дані до коефіцієнту $C_М$ дивися далі. Ці формули придатні для розрахунку розширення при прокатуванні розкатів в гладких валках (на гладкій бочці) при $B_{ср}/l_d < 4$. Формули (2.8), (2.9) показують більш високу точність розрахунку розширення в порівнянні з відомими формулами [17].

2.2 Розширення металу при прокатуванні різних марок сталей

З практики відомо, що різні сталі мають неоднакові розширення. І.Я. Тарновський [5] вважає, що співвідношення між поперечною і подовжньою деформаціями безпосередньо від хімічного складу стали або сплаву не залежить, а може бути різним тільки внаслідок різних коефіцієнтів зовнішнього тертя за інших рівних умов. Автор [5] наводить результати дослідів, з яких виходить, що незалежно від марки стали зразки (образци), покриті хромом завжди мали при прокатуванні більше розширення, ніж зразки, поверхня яких покрита шаром нікелю, що забезпечує менші значення коефіцієнта тертя.

Досліди [8], виконані при прокатуванні зразків різних сталей при одночасному визначенні коефіцієнта тертя і розширення показали, що в загальному випадку ріст коефіцієнта тертя викликає збільшення показника розширення. З дослідів виходить, що застосування ефективнішого мастила з емульсії полімеризованої бавовняної олії (ПБМ) призводить до зменшення коефіцієнта тертя і розширення для усіх марок сталей.

Міра впливу коефіцієнта тертя на розширення дещо розрізняється для різних марок стали. Так, для сталі марки ШХ15 при зміні різних мастил коефіцієнт тертя змінюється в 1,45 разу, а розширення змінюється всього в 1,24 разу. Менший вплив коефіцієнта тертя на розширення проявляється при прокатуванні зразків стали ЭИ654. Найбільші значення розширення і коефіцієнта тертя отримані при прокатуванні зразків з хромисто-титанової сталі Х25Т, де маємо $f = 0,47$ і $\Delta b/\Delta h = 0,9$. З дослідів також виходить, що для кожної марки стали при більшій мірі зміни коефіцієнта тертя спостерігається менша зміна показника розширення. При середній мірі збільшення коефіцієнта тертя в 1,40 разу в результаті впливу мастила показник розширення зріс в середньому в ~1,15 разу.

Звертає на себе увагу відсутність повного кореляційного зв'язку між збільшенням коефіцієнта тертя при одному і тому ж технологічному мастилі і показником розширення різних марок сталей. Так, при прокатуванні з емульсією з Э-2(Б) сталей ШХ 15 і Х25Т коефіцієнт тертя зростає в 1,36 разу, а показник розширення

$\Delta b/\Delta h$ середній по висоті збільшується в ~1,76 разу, що значно більше власної зміни коефіцієнта тертя.

Таблиця 2.1 - Значення коефіцієнта $C_м$

Марка стали	См	Марка стали	См
Ст.3; ШХ15	1,0	Х17	1,28
45Г17Ю3	0,94	1Х17Н2	1,48
		1Х18Н12ТЮ (ЭИ-654)	1,50
Х18Н9Т	1,2	Х25Т	1,53

Це свідчить про те, що на величину показника розширення роблять вплив і інші чинники, у тому числі внутрішній опір течії металу і характер розширення металу по висоті, які у свою чергу, очевидно, обумовлені впливом коефіцієнта зовнішнього тертя. Вплив марки стали на розширення, на підставі дослідних даних, враховується поправочним коефіцієнтом См (табл. 2.1).