

ЛЕКЦІЯ 2

Основні поняття точної прокатки листів та штаб

ПЛАН ЛЕКЦІЇ

1. ПОПЕРЕЧНА РІЗНОТОВЩИННІСТЬ ШТАБ.
 - 1.1 Вигин та профілювання валків.
 - 1.2 Підвищення експлуатаційної стійкості валків.
 - 1.3 Спеціальне профілювання робочих валків для зменшення поперечної різнотовщинності штаб.

Вище відмічали, що поперечна різнотовщинність штаби (листа) формується при гарячій прокатки. Одним з основних чинників, що впливають на поперечну різнотовщинність штаб **являються величини прогинів опорного і робочого валків** [4,12,13], які визначається наступними параметрами (рис.1.4):

- опорний валок: P, E, G, J, L, D, B ;

- робочий валок: $P, E, G, J, L, D, B, n, n_1$,

де E, G, J - відповідно модулі пружності, зрушення і інерції валків; L, D, B - відповідно довжина, діаметр валка і ширина штаби; n - коефіцієнт нерівномірності розподілу погонних сил на міжвалковому контакті (МВК); n_1 - коефіцієнт нерівномірності розподілу погонних сил на контакті штаби і валків (на пружно - пластичному контакті: ППК). Нерівномірність розподілу погонних сил на контактах валків кліті кварто оцінимо коефіцієнтами n (МВК) і n_1 (ППК) :

$$n = q_1/q_0 ; \quad n_1 = p_1/p_0, \quad (1.11)$$

де q_1 і q_0 - відповідно погонні сили на краю і в середині міжвалкового контакту; p_1 і p_0 - відповідно погонні сили на краю і в середині пружно - пластичного контакту (рис.1.4).

Математичні формули для розрахунку прогинів валків і їх аналіз дано в роботах [4,12,13]. Тут відмітимо, що із збільшенням прогинів валків поперечна різнотовщинність штаб збільшується. Отже, усі чинники, які визначають

збільшення прогинів валків, збільшують поперечну різнотов-щинність штаб. Для опорного і робочого валків до таких чинників відносяться сила прокатки P і довжина бочки валка L . Збільшення ширини штаби B , коефіцієнтів n і n_1 , а також і інших параметрів (D, E, G, J) сприяють зменшенню прогинів валків, а отже, і поперечній різнотовщинності штаби..

Для компенсації прогинів валків на станах холодної прокатки застосовують, як правило, **робочі валки із заздалегідь виготовленою початковою опуклістю** в межах $f_p = 0,05 \dots 0,4 \text{ мм}$. На станах гарячої прокатки робочі валки в початковому (холодному) стані шліфують на угнутість $f_p = (0,05 \dots 0,15 \text{ мм})$, але на початку прокатки середина їх бочок розігрівається до $65 \dots 75^\circ \text{C}$ і профіль твірної набирає опуклого вигляду до $f_p = 0,05 \dots 0,3 \text{ мм}$, необхідною для компенсації прогину валків (на деяких станах перед завалкою середню частину довжини робочих валків спеціально підігрівають на індукційних установках для отримання опуклого профілю).

Нижче приведено формули для попереднього визначення необхідної опуклості робочого валка [12].

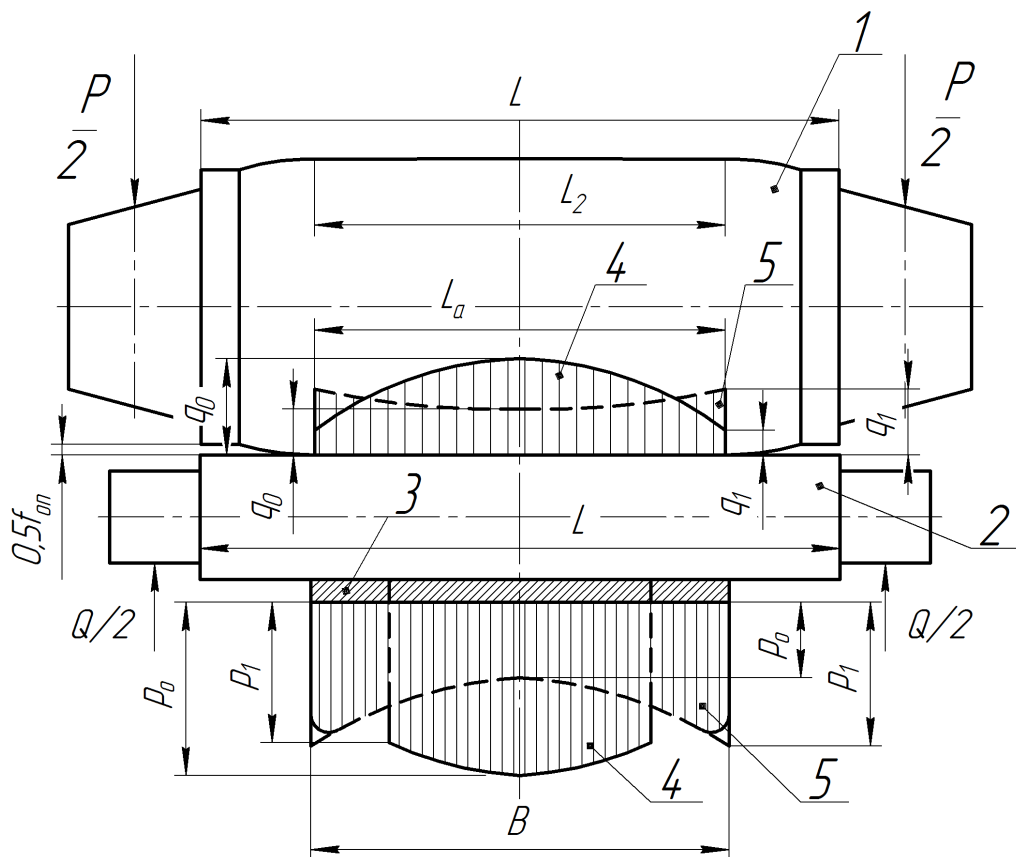


Рисунок 1.4- - Нерівномірний розподіл погонних сил $q(y)$ між новими циліндричними опорним і робочим валками, а також робочим валком і штабою $p(y)$: 1 - опорний валок; 2 - робочий валок; 3 - штаба; 4 - епюри $p(y)$ і $q(y)$ при прокатуванні вузьких штаб; 5 - теж при прокатуванні широких штаб (B -ширина штаби; L - довжина бочки валка; L_2 - активна довжина бочки без скосів; L_a - змінна довжина міжвалкового контакту; Q - сила протипрогину робочих валків; $f_{оп}$ - опуклість опорного валка)

$$f_p = \left[W_1 + W_2 - \frac{\delta h_{\Pi}}{2} \left(\frac{L_a}{B} \right)^2 \right] \left(\frac{L}{L_a} \right)^2 - \frac{1}{2} f_{оп} - \delta_B - f_T, \quad (1.12)$$

де W_1, W_2 - прогини відповідно робочого і опорного валків (мм); δh_{Π} - поперечна різнотовщинність штаби, що допускається, в цій кліті (мм); f_T - теплова опуклість на довжині валка (робочого або опорного); δ_B - зношення опорного валка по осі на діаметр (середня між двома валками).

Параметри W_1, W_2, f_T визначаються розрахунком [4,12,13] (інші параметри входять до числа початкових. Як впливає з формули (1.12), усі складові з позитивним знаком змушують збільшувати компенсуючу опуклість робочого валка, а з негативним знаком - її зменшувати. Так, наприклад, при збільшенні поперечної різнотовщинності δh_{Π} , що допускається, величину опуклості робочого валка f_p слід зменшувати. У практичних умовах величина початкової опуклості при постійних параметрах кліті і нових опорних валках обумовлена, головним чином, шириною штаби.

На нових опорних валках в першу чергу необхідно прокатувати широкі штаби ($B/L=0,75...0,85$), потім вузькі штаби (з $B/L=0,55...0,65$). Це зменшує нерівномірність зношення робочих і опорних валків. У міру зносу робочих валків на протязі зміни їх профіль коригують шляхом збільшення теплової опуклості f_T (зменшення подання води або мастильно-охолоджувальній рідині емульсії на середню ділянку бочки робочого валка). Теплове регулювання профілю робочих валків застосовують також і у разі невідповідності початкового їх профілювання умовам отримання необхідного (якісного) поперечного профілю штаби (листа).

Дослідження [12] показують, що застосування робочих валків з опуклою формою твірної у вигляді квадратичної параболи викликає підвищене зношення на середній ділянці довжини бочки опорного валка внаслідок появи більших нормальних контактних напружень. Одночасно зношується і сама опуклість робочого валка, що змінює форму і розміри зазору між робочими валками, обумовлюючи необхідність постійного регулювання його параметрів.

Наявність опуклості, и відповідно, робочого валка обумовлює нерівномірність окружних швидкостей, що негативно позначається на площинності штаб. Таким чином, необхідно зменшувати розрахункову опуклість робочого валка шляхом, наприклад, перенесення частини її на опорний валок, а твірну опорного валка виконувати у вигляді параболи вищого порядку (рис.1.5, в). Як впливає з рис.1.5,а, при циліндричному профілюванні опорного і робочого валків первинний контакт відбувається по усій довжині їх бочок, що обумовлює порівняно рівномірний розподіл погонних сил і зношення їх поверхонь контакту

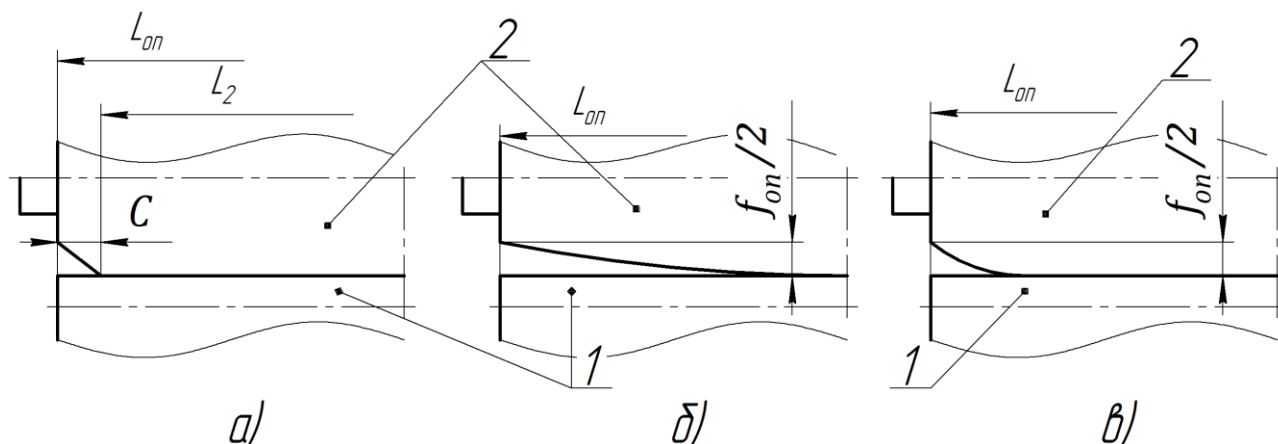


Рисунок 1.5 - Варіанти профілювання бочки опорного валка : а - циліндричний профіль з крайовим скосом C ; б - опуклий параболічний профіль ($m=2$); в - параболічний профіль з $m=4-8$; 1 - робочий валок з циліндричним профілем твірної ; 2 - опорний валок; C - довжина крайового скосу (урізу) (m - показник міри опуклого профілю валка)

Проте таке профілювання не може компенсувати прогин валків. Профілювання на рис.1.5, б здатне компенсувати прогин валків, але опуклість одного з валків обумовлює на середній ділянці бочок концентрацію нормальних напружені, що викликає підвищений знос контактної поверхневого шару валків. Параболічний профіль опорного валка з $m=4-8$ (рис.1.5, в) і зі змінною кривизною по довжині бочки забезпечує компенсацію прогинів валків і зменшує нерівномірність їх зносу.

1.5 Зношення валків і поперечна різнотовщинність штаб

Опорні і, особливо, робочі валки широкоштабових станів працюють при значних температурних і контактних напруженнях, інтенсивному відносному ковзанні на контактних поверхнях, значній нерівномірності зношення валків по довжині бочок.

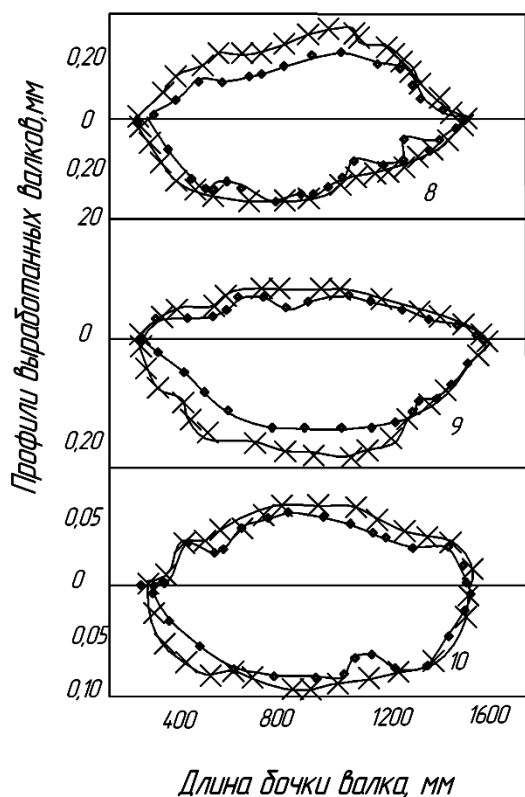


Рисунок 1.6 - Профілі зношених робочих чавунних валків з вибіленим шаром (ЛПХН, д -63...72) в холодному стані (кліті №№ 8-10). Початкові (холодні) профілі в клітях № 8, 10 - $f_p=0/0$; у кліті № 9 - $f_p=-0,1/0$. Об'єм прокату $G = 2100 - 2400$ т (ШСГП 1680, ПАО «Запоріж-сталь»)[5]

15 суток по графіку) поперечна різнотовщинність штаб знаходиться в межах 0,04...0,08мм, що вже помітно перевищує рекомендовані раціональні величини $\delta h_{\Pi} = 0,03...0,05$ мм. Після прокатки 120000т металу спостерігаються ознаки початку катастрофічного зносу поверхні опорних валків.

Для поліпшення поперечного профілю штаби нині перевалку опорних валків виконують через кожні 10 діб роботи. Дані рис.1.7,б отримані при вимірі товщини штаб, прокатаних на нових робочих валках. Компенсація поступового зносу робочих валків і деяке зниження поперечної різнотовщинності забезпечують тепловим профілюванням і протипрогином робочих валків в останніх клітках стана. Вказана на рис.1.7 поперечна різнотовщинність штаб характерна і іншим станам, не обладнаними ефективними системами регулювання міжвалкового зазору [14].

Для отримання раціональної поперечної різнотовщинності штаб в межах $\delta h_{\Pi} = 0,03...0,05$ мм необхідно :

- зменшити поперечну різнотовщинність сляб;
- встановити між чорною та чистою групами клітей підігрівальні пічі, окрім койлбоксу;
- в чорнових і чистових клітках слід застосовувати робочі валки з високою твердістю, а кліті чистових груп ШСГП обладнати системами з декількома каналами регулювання міжвалкового зазору:
- використовувати багатосекційні колектори подання охолодження на робочі валки (5- 10 секцій);
- використовувати системи осевого зсуву робочих валків клітей кварто з використанням профілювання робочих валків типу SVC.

Застосування вказаних систем регулювання міжвалкового зазору не виключає необхідності вдосконалення технології прокатки, створення нових матеріалів для валків, підвищення їх експлуатаційних властивостей іншими шляхами.

1.6 Підвищення експлуатаційної стійкості валків

До прокатних валків пред'являються наступні вимоги: забезпечення вузьких допусків розмірів по товщині та площинності (планшетності) прокату; висока якість поверхні; рівномірність структури; економічність використання валків; висока надійність валків; виправдана їх вартість. Важливим для отримання якісного профілю готової штаби є не лише умови роботи валків в чистовій групі, але також і в чорновій групі клітей [5, 15-17].

Якість профілю готової штаби закладається в основному в чорновій групі клітей, тому щонайменше поліпшення геометрії осередку деформації в чорнових клітках робить істотний вплив на профіль готової продукції. Наявні дефекти можуть бути лише трохи поліпшені в чистових клітках, тоді як нерівності по центру або краям штаби можуть бути причиною аварій. Навіть при використанні SVC - профілювання валків або системи протипрогину

готовий прокат матиме майже такий же профіль в перерізі, яким він був закладений при прокатуванні в чорновій групі клітей.

Наступним важливим завданням чорнової групи є забезпечення температурного режиму прокатки. Втрати тепла мають бути добре контрольовані і зведені до мінімуму. Отже, на виконання усіх операцій в чорнових клітях відводиться строго обмежений час.

Основним завданням в процесі експлуатації є досягнення найкращого співвідношення витрат і ефективності роботи стана. Для цього необхідно домагатися високої продуктивності при раціональній швидкості прокатки і мінімумі проходів з максимальними обтисненнями в кожному з них. При цьому потрібна досить велика тривалість кампанії роботи валків, оскільки перевалка всіх валків займає за сумою декілька годин і, отже, збільшуються простой стана. Проте збільшення цієї тривалості повинне забезпечити хорошу поверхню і стабільність профілю штаби. Важкі умови експлуатації валків в чорновій групі клітей вимагають забезпечення їх високої експлуатаційної надійності для отримання якісного прокату і виключення аварій.

У зв'язку з вказаними умовами роботи валків в чорнових групах клітей посилюються вимоги до здатності валків до захвату розкату і підвищення величини обтиснення, яка визначається величиною коефіцієнта тертя. Підвищуються вимоги:

- до зносостійкості, термоусталостної міцності і корозійної стійкості, які сприяють низькому і рівномірному зносу валків;
- до жароміцності і стійкості до утворення тріщин розпалу, що забезпечують їх рівномірну дрібну сітку;
- збереженню якості поверхні валків при тривалих кампаніях роботи без відшаровувань і викрошки;
- до запобігання ушкодженням валків при великих термічних і механічних навантаженнях, порушеннях технологічного процесу, аваріях та ін.

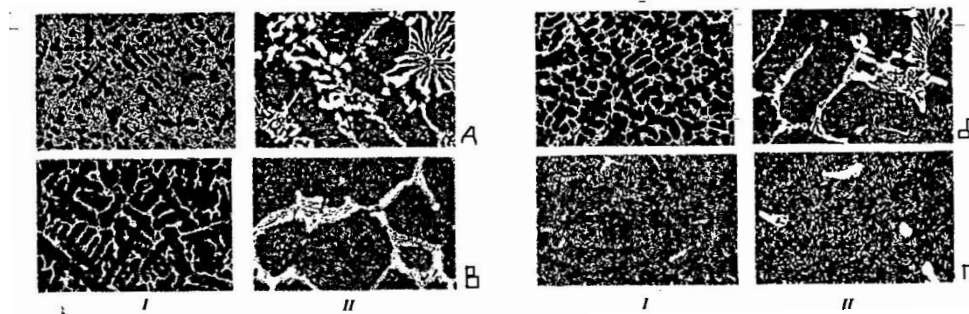


Рисунок 1.8 - Мікроструктура матеріалів валків чорнових клітей : I - $\times 100$; II - $\times 500$; а - високохромистий чавун; б – високовуглецева хромиста сталь; в - маловуглецева хромиста сталь; г-спеціальна швидкорізальна сталь

У чорнових клітях використовується велика кількість валків з чавуну і сталі різних марок (рис.1.8). Хімічний склад і інтервали твердості для найбільш поширених матеріалів робочих валків приведені в таблицю.1.1, а в таблиці.1.2 - їх порівняльні експлуатаційні характеристики в чорнових групах клітей. Нині широко використовують двошарові валки з хромистої сталі з віссю з

високоміцного чавуну, які значною мірою відповідають експлуатаційним вимогам, що пред'являються до робочих валків чорнових клітей. Проте зростаючі вимоги до ефективності роботи станів визначають необхідність розробки ще ефективніших матеріалів робочих валків.

Таблиця 1.1 - Хімічний склад і твердість робочих валків чорнових клітей

Матеріал валків	C, %	C _T , %	Mo, %	HSC≈
Кована сталь	0,4-0,8	<0,5	<0,2	28-38
Сталеве литво	0,5-0,9	<0,5	<0,2	32-42
ICDP	3,2-3,4	1,2-1,8	0,2-0,4	60-70
Чавун ВЧ	3,0-3,4	<1,1	0,1-0,6	50-70
Адаміт	1,2-1,7	1,4-1,7	0,1-0,4	40-55
Напівсталь	1,5-1,9	0,7-1,5	0,1-0,5	35-55
Високохромистий чавун	2,5-2,8	16-18	1,1-1,5	65-78
Хромиста сталь	1,3-2,0	10-12	1-4	68-78
Спеціальна швидкорізальна сталь	0,6-1,0	6,5-8,5	2-5	70-90

До таких матеріалів відноситься швидкорізальна сталь, валкі з якої мають ряд істотних переваг. Поліпшені механічні властивості при підвищених температурах, запобігання формуванню закритої сітки первинних карбідів валків зі швидкорізальної сталі гарантує підвищення опору зрізу і відсутність мікро- викрошиваній. Комбінація поліпшених умов захвату і зносостійкості дозволяє значно збільшити експлуатаційну стійкість валків. Результати експлуатації таких валків на напівнеперервних ШСГП показали, що число проходів може бути зменшене з семи до п'яти, дозволяє підвищити продуктивність стана приблизно на 20 % в порівнянні з валками з хромистої сталі.

При цьому один тільки показник зносу валків цієї нової марки може бути поліпшений на 150 .300 % (рис.1.9).Застосування нових валків, як правило, дозволяє збільшити тривалість кампаній удвічі в порівнянні з валками з хромистої сталі без виходу за межі допусків геометрії осередку деформації.

Нині проводять випробування валків, виготовлених з нових матеріалів, проте це не виключає розвиток інших методів підвищення експлуатаційних властивостей опорних і робочих валків, виготовлених з традиційних матеріалів.

Одним із способів підвищення експлуатаційної стійкості є зміцнення поверхневого шару валків.

Таблиця 1.2 – Порівняння поведінки валків різних марок в чорновій групі клітей

Матеріал валків	Захват	Зносо- стійкість	Стійкість до розпалу	Якість поверхні	Тривалість кампанії	Надійність к експлу- атації
Кована сталь	О	П	П	П	П	У
Сталеве литво	О	НУ	П	П	П	У
ICDP	Х	П	Х	У	П	Х
Чавун ВЧ	П	НУ	НУ	У	НУ	НУ
Адаміт	Х	НУ	НУ	НУ	НУ	У
Напівсталь	У	НУ	У	У	НУ	У
Високохро- мистий чавун	У	У	НУ	У	У	Х
Хромиста сталь	Х	Х	У	Х	Х	Х
Спеціальна швидкоріза- льна сталь	О	О	О	О	О	Х

О - відмінно; Х - добре; У - задовільно; НУ- незадовільно; П - погано..

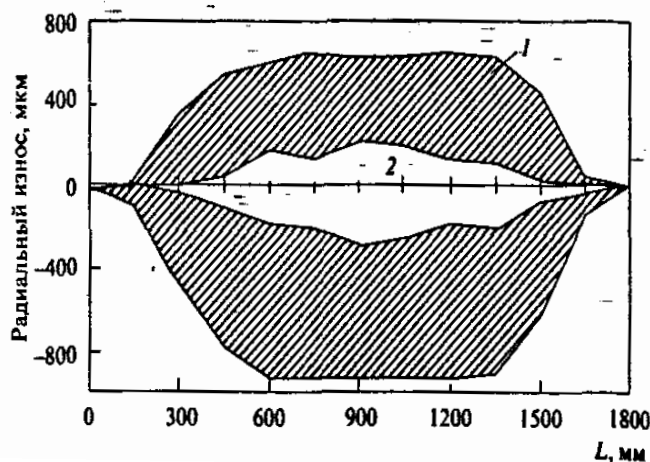


Рисунок 1.9 - Профіль зносу по довжині (L) робочих валків після прокатки 56 тис.т металу в чорновій реверс-ивній кліті: 1 - з хромистої сталі; 2 - з швидкорізальна сталь

1.7 Спеціальне профілювання робочих валків для зменшення поперечної різнотовщинності штаб

На початку 1980-х років у ФРН запропонований новий тип профілювання твірної бочок робочих валків двовалкових і чотиривалкових клітей з S - образною формою бочки (валки CVC) (Continuously Variable Crown - безступінчаста регульована бочкоподібність), яка дозволяє управляти міжвалковим зазором в процесі прокатки [5,14,15] (рис.1.10).

У початковому положенні рисунка міжвалковий зазор має постійну висоту по ширині штаби. При зрушенні валків по стрілці А усувається поперечна різнотовщинність штаби. При зрушенні валків по стрілці В збільшується поперечна різнотолщинність штаби. Різниця діаметрів по довжині бочки S - образних валків складає 0,3...0,8мм. Максимальне осьове переміщення валків $C=\pm 100$ мм. .

На підставі досліджень на промисловому ШСГП 2230 встановлено що систему CVC слід застосовувати в перших клітях чистової групи спільно з системою вигину валків. У інших клітях монтується система гідровигину робочих валків для усунення неплоскостності штаби. Таким чином, в перших клітях чистової групи створюється необхідний поперечний профіль, а в подальших регулюється площинність штаби [14].

Серйозним недоліком системи CVC є велика різниця діаметрів робочого валка по довжині бочки ($f=0,3...0,8$ мм) при циліндричному опорному валку. Внаслідок різниці діаметрів робочого валка, а отже, і різних окружних швидкостях, при постійній середній окружній швидкості опорного валка, на їх міжвалковом контакті виникає інтенсивне ковзання, що викликає інтенсивний знос, нерівномірний по довжині бочок валків [18]. Це знижує довговічність їх роботи і погіршує умови отримання планшетних штаб .

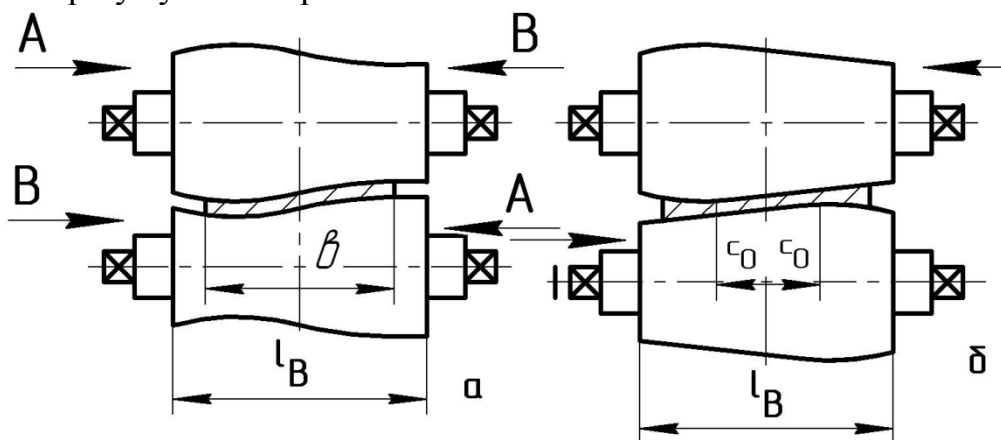


Рисунок 1.10 - Профілі валків типу CVC (а) і із опуклостями(б). А,В-напрямок зсуву валків

На думку [14] профілювання CVC придатна для усунення поперечної різнотовщинності і являється занадто грубій для регулювання форми площинності штаби. Дійсно, при $f=0,3$ мм і зсуву валків на кожні 20мм середня

частина штаби обтиснюється приблизно на 0,03мм, що істотно більше величини обтиснення для регулювання форми штаби (див. нижче).

У роботі [12] розглянуто несиметричне профілювання зі зміщеними вершинами опуклостей твірної бочок валків (ПСВВ) (1983г) (рис.1.10, б). Величина зміщення опуклостей твірної валків складає $C_0 = (0,05...0,2) L$ і достатня для зменшення поперечної різнотовщинності штаб до мінімальної величини. Для зменшення товщини штаби в середній частині ширини (зменшення поперечної різнотовщинності) досить зробити зрушення двох валків у напрямі «А». Для конкретного стану встановлюють необхідні значення « C_0 » і величину опуклості f_p . У відмінності від системи SVC, профілювання за типом ПСВВ опуклість валків забезпечує компенсацію прогинів валків, а осьовий зсув валків дозволяє додатково зменшити поперечну різнотовщинність штаби. Розділення функцій компенсації прогину і регулювання площинності дозволяє зменшити зношення робочих і опорних валків. Системи ПСВВ можна встановлювати в одній або декількох клітках ШСГП і НСХП. Величину обтиснення середньої частини ширини штаби при осьовому зрушенні валків можна оцінити по формулі (для двох валків)

$$\Delta h_C = f_p \cdot (C/L)^n, \quad (1.13)$$

де Δh_C - величина додаткового обтиснення при зсуві опуклостей в перерізі, що відповідає осі валків; C - величина зсуву для двох валків; f_p - діаметральна опуклість валків; n - показник степені (1,5...3).

Чим більше параметр « C » і менше показник степені n , тим більше величина абсолютного Δh_C і відносного обтиснення ε в середній частині ширини штаби.