

ЛЕКЦІЯ 3

1. ПОПЕРЕЧНА РІЗНОТОВЩИННІСТЬ ШТАБ.

ПЛАН ЛЕКЦІЇ

1. Площинність штаб.
2. Способи регулювання обтиснення по ширині штаби.

1.8 Площинність штаб

23

Лист є плоским (планшетним) якщо він усіма точками поверхні стикається з абсолютно плоскою плитою. Проте подібні листи в практиці прокатки якщо зустрічаються, то дуже рідко. Плоскі листи потрібні для отримання якісних виробів при холодному листовому штампуванні (деталі автомобілів, сільськогосподарських машин, побутової техніки). При штампуванні деталей з неплоского листа виникають розриви внаслідок різних коефіцієнтів витягань по площині листа.

Як правило готові листи, вирізані з прокатої штаби, мають деяку неплоскощинність. Неплоскощинність листової сталі оцінюється амплітудою A відхилення від плоскої плити на базі 1м довжини листа. Листи і штаби в рулонах шириною більше 500 мм підрозділяються на групи: особливо високій (ПО), високій (ПВ), поліпшеній (ПУ) і нормальній (ПН) площинності. Відхилення (A) від плоскої форми холоднокатаної листової сталі з границей міцності до 700 Н/мм^2 не повинні перевищувати відповідно наступних значень (ширина штаб 1000 - 1500 мм) (мм) :

ПО - 5; ПВ - 8; ПУ - 12; ПН - 15.

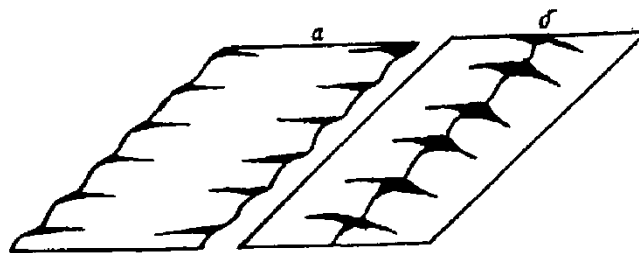


Рисунок 1.11-Схеми хвилястості (а) і коробоватості (б) штаби (листа)

При прокатуванні штаб на сучасних станах неплоскостність готових листів не перевищує $A < 4 \text{ мм}$. Розрізняють неплоскостність в основному двох видів: хвилястість і коробоватість (рис.1.11). Хвилястість виникає внаслідок більшого, ніж це необхідно, обтиснення по кромці штаби, а коробоватість- в середині ширини штаби. .

Плоскостність (планшетність) штаби є однією з характеристик точності геометрії листової сталі і одним з головних показників її технологічної придатності для подальшої обробки. Неплоскостність (рис.1.11) і серповидність гарячекатаних штаб призводять до погіршення якості зварних швів, травмуванню штаб при змотуванні її в рулон і розмотуванні на стані холодної прокатки.

При холодному прокатуванні неплоскостність служить причиною обривів і утворення складок на штабі, травмує валки, що підвищує витрату валків і знижує продуктивність станів. .

Вихід з ладу робочих валків із-за ушкоджень в процесі холодного прокатування складає 60... 90% від загального числа ушкоджених валків, а простої стана з цієї причини доходять до 30% від загального часу простоїв.

При змотуванні неплоскої штаби виходить рулон з різною щільністю, що сприяє зварюванню витків при відпалі і утворенню зламів при дресируванні [19,20]. Відсортовування по дефектах форми в сучасних цехах холодного прокатування складає 0,17...0,5% від загальної кількості прокату (і це при амплітуді неплоскостності $A > 5 \text{ мм}$). Поліпшення планшетності штаб досягається шляхом застосування раціональних початкових профілювань валків, теплового регулювання профілю робочих валків з секціонуванням колекторів подання (охолоджувача) на кожні 100... 200 мм довжини валків (штаби), використанням в останніх клітках гідровигину робочих валків.

Необхідним для отримання плоскої форми штаб є дотримання умови яке можна представити у виді

$$\frac{\delta_{\text{ПГ}}}{H} = \frac{\delta_{\text{ПХ}}}{h}, \quad (1.14)$$

де $\delta_{\text{ПГ}}$ і $\delta_{\text{ПХ}}$ - поперечна різновтовщинність відповідно до гарячекатаної і холоднокатаної штаб.

Вказана умова передбачає однакову міру зменшення товщини штаби і поперечної різновтовщинності. Але умова (1.14) є недостатньою, оскільки штаба нерівномірно деформується в профільованих робочих валках і тому окружна

швидкість по довжині їх бочок буде різною. Тому додатковою умовою отримання планшетних (плоских) штаб буде рівність швидкостей подовжніх течій по ширині штаби :

$$v_{\Pi i} = v_i (1 + S_i) = \text{const} , \quad (1.15)$$

де v_i - окружна швидкість валка в i -му поперечному перерізі довжини бочки на ширині штаби; S_i - випередження в i -ом перерізі по ширині штаби.

У зв'язку з цим в процесі прокатки впливають на форму штаби шляхом зміни профілювання робочих валків в процесі роботи різними способами. Основними видами неплоскостності листа є хвилястість і коробоватість (рис.1.11). Хвилястість штаби виникає у разі, якщо деформація (ϵ) і коефіцієнт витягу (μ) на кромках штаби більші, ніж в середині ширини, а коробоватість - при великих значеннях ϵ і μ в середині ширини штаби. Причому, неплоскостність виникає при невеликій різниці в значеннях μ (ϵ) на кромці і в середині штаби.

Так, при прокатуванні штаб шириною 1250 мм неплоскостність величиною $A = 8\text{мм}$ виходить при відносній різниці витягань по ширині рівної всього $\Delta\mu/\mu = 0,0004$ (де $\Delta\mu$ - різниця в коефіцієнтах витягань на кромці і в середині ширини; μ - середній коефіцієнт витягання по ширині штаби). Відмінність деформацій по ширині штаби (в пружній області деформацій) викликає відмінність подовжньої напруженості розтягування по ширині. При цьому в штабі, що прокатується з коробоватістю, максимальне напруження розтягування діє на кромках, а якщо з хвилястістю, то в середині ширини. На цих особливостях засновані сучасні методи виміру неплоскостності штаби.. У відповідність із законом Гука залежність між деформаціями і напруженням в кожному поперечному перерізі штаби має наступний вид

$$\Delta\sigma_x = a \cdot E \cdot \Delta\mu/\mu \quad (1.16)$$

де a - коефіцієнт впливу суміжних шарів штаби ($a = 1,1...1,2$); E - модуль пружності матеріалу штаби $\Delta\sigma_x$ - різниця напружень розтягувань по ширині штаби.

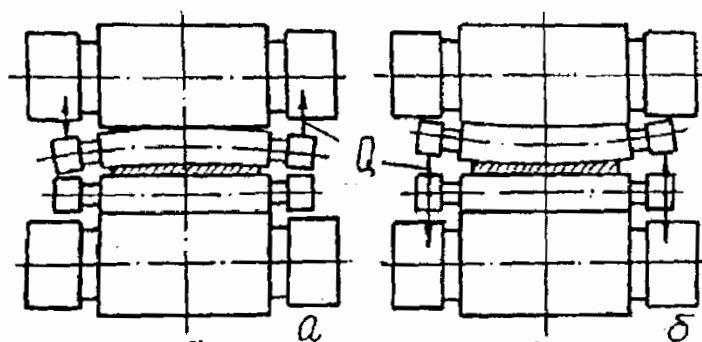


Рисунок 1.12 - Схема гідралічного регулювання міжвалкового зозору: а - додатковий вигин; б-проти-вовигин (Q-сила проти-вигину)

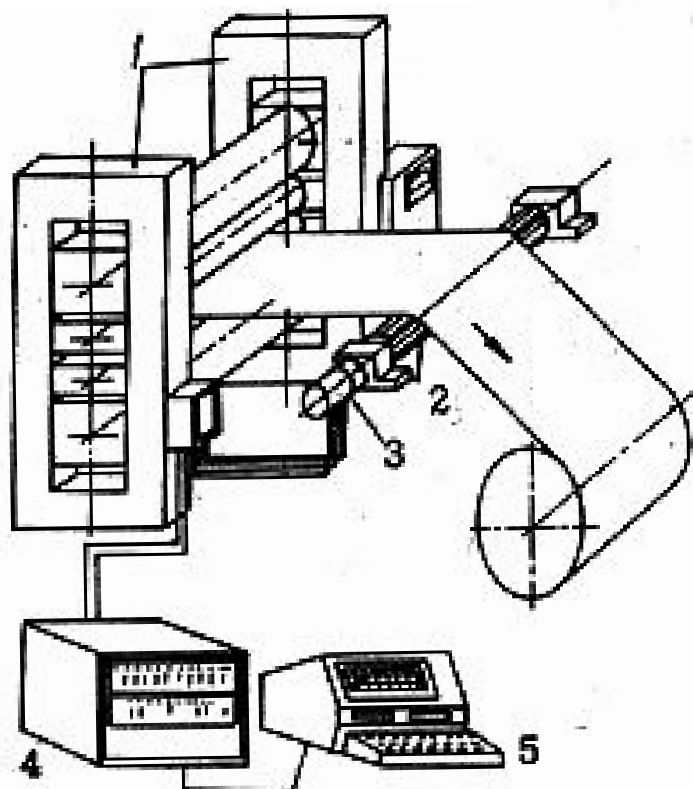


Рисунок 1.13-Схема механічного профіледетектора (стрессометра) 1 - кліть; 2 - стрессометр; 3 - струмознімач; 4-електронний перетворювач; 5-табло.

Незначна відмінність в коефіцієнтах витягування по ширині штаби призводить до помітної різниці напружень розтягувань, а отже, СНКН і товщина штаби на окремих ділянках. Так, при $\Delta\mu/\mu = 0,0001$, $E=220000\text{Н/мм}^2$, $a=1,1$ з формули (1,16) отримаємо $\Delta\sigma_x=24,1\text{Н/мм}^2$.

На існуючих станах (прокатних і дресировальних) зменшення неплоскостності досягається гідровигином робочих валків (рис.1.12). Ці пристрої працюють в системі автоматичного регулювання профілю і форми (САРПФ) штаб, яка включає також блок температурного регулювання профілю валків за наявності місцевої неплоскостності штаб. Система працює спільно з профіледетектором (стрессометром), що вимірює форму штаби через нерівномірність розподілу по ширині подовжнього напруження розтягування (рис.1.13). Дані стрессометра 2 передаються для візуального спостереження на табло 5 і блоки управління 4 формою штаби.

Дослідження, виконані на стані 2130 фірм Алкан (Канада), показують, що до установки САРПФ планшетність 58-ї% штаб виходила за межі допусків і тільки 3% штаб були плоскими. Застосування гідровигину робочих валків з ручним управлінням дозволило в 62% випадків отримувати плоску штабу і тільки 10% штаб виходили за межі допусків, т. е. брак зменшився майже в 6 разів. В результаті впровадження автоматичного управління гідровигину і теплового регулювання профілю валків з використанням сигналів від стрессометра забезпечений випуск плоских штаб в ~100% випадків.

Впровадження системи дозволило на 25% зменшити мінімальну товщину штаби і на таку ж величину зросла їх максимальна ширина. Аналогічні системи працюють в чистових клітках ШСГП гарячого прокатування, тільки вимір поперечного профілю штаби робиться безконтактними рентгенівськими або ізотопними товщиномірами в різних точках ширини штаби.

1.9 Спосіб регулювання обтиснення по ширині штаби

Нині з метою зменшення неплоскостності штаб при гарячому і холодному прокатуванні установку і формування міжвалкового зазору в клітках кварто виконують по декількох каналах, у тому числі зі застосуванням секційного охолодження робочих валків водою або мастильно-охолоджувальною рідиною (емульсією)[21,22]. Проте ефективність цього способу обмежена інерційністю в межах 20...30хв. для виходу на необхідні параметри міжвалкового зазору.

Ефективнішим може бути спосіб, в якому диференційоване подання охолоджувача (емульсії) при холодному прокатуванні роблять не на робочі валки, а на локальні ділянки по ширині, розігрітій під час прокатки до температури 150...250⁰С, штаби перед входом її в робочі валки або на виході з валків (рис.1.14) [23].

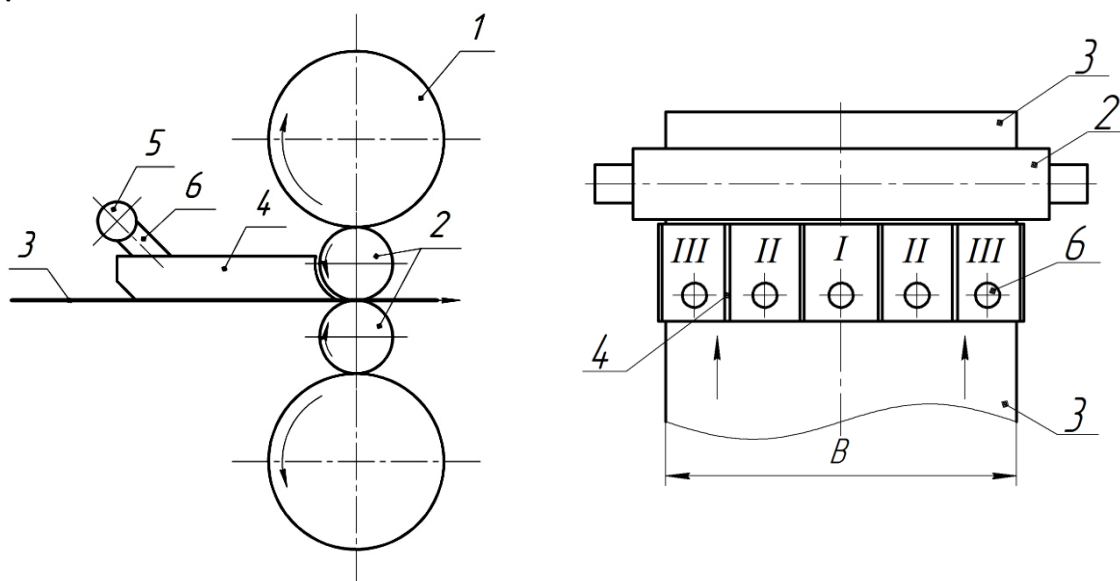


Рисунок 1.14-Схема пристрою для диференційованого подання охолоджувача на штабу: 1 - опорний валок; 2 - робочі валки; 3 - штаба; 4 –перегородки ; 5 - колектор; 6 – трубка для подачі охолоджувача

Для охолодження штаби використовують робочу емульсію з температурою 35...45⁰С. У цьому варіанті подання охолоджувача на локальну ділянку осередку деформації, відбувається одночасне охолодження і штаби, до вступу її у валки, і самих валків

Процес прокатки виконують таким чином. Секційний пристрій 4-6, встановлене перед валками і має, наприклад, п'ять секцій I - III, розділених

перегородками зі взаємним кріпленням. Довжина перегородок 1,5...2,0 м і встановлено їх над поверхнею штаби. На нижній поверхні сталевих перегородок закріплені пластини з м'якого матеріалу, що запобігають контакту зі штабою. Над кожною секцією пристрою 4 встановлені трубки - форсунки 6, в які охолоджувач подається з колектора 5.

Сигнал на включення подання охолоджувача (емульсії) на ту або іншу секцію передається через систему обробки результатів від секційного тензометричного ролика для виміру нерівномірності напружень (неплощинності) по ширині штаби. Якщо штаба прокатується з жолобленням на середній ділянці ширини штаби, то поступає сигнал на подання певної кількості охолоджувача на ділянку I штаби. При недостатній кількості охолоджувача з трубки 5, додатково включаються подання охолоджувача на секцію II. У разі прокатки штаби з хвилястістю кромek - охолоджувач подається з трубок на секцію III.

Можливість дії на параметри холодної прокатки зміною температури штаби підтверджується результатами експериментів [24,25], в яких полоси із сталі 08кп з товщиною $H \approx 2,5$ мм прокатували з різними початковими температурами на стані з діаметром валків $D = 256$ мм і твердістю поверхні 94 HSD..

Початкова температура полос перед прокаткою складала в середньому 25, 60, 160 і 260 °С. В якості мастила використали індустріальне масло И-12А, якою покривали полос, для запобігання окисленню при нагріві, і валки перед кожним проходом.

Температура валків в дослідах дорівнювала 40...50°C, обтиснення полос $\varepsilon \approx 10...50\%$. Кожну партію полос прокатували при одній установці валків, але з різними температурами. В процесі дослідів вимірювали силу прокатки і випередження по кернових відмітках з урахуванням коефіцієнта лінійного розширення. По цим даним розрахунковим шляхом визначали середнє нормальне контактне напруження і коефіцієнт зовнішнього тертя з урахуванням пружних деформацій валків і штаби.

Результати досліджень свідчать про ті, що зменшення початкової температури полос приводить до збільшення сили плющення і зменшення відносного обтиснення полос. Наприклад, з даних [24,25]. слідує, що при зменшенні температури полоси усього з 125°C до 100°C (при усіх значеннях обтиснення) СНКН збільшується в середньому на 3,8%, а відносне обтиснення ε зменшується в середньому на 2,2%. Тобто при зменшенні температури полоси на $\Delta t = 1^\circ\text{C}$ відносне обтискання зменшується на $((=0,022/25=0,0009$. За даними Ю.Д.Железнова [26] при такій зміні відносного обтиснення можна зменшити дефект форми штаби (амплітуду відхилення від рівної форми) на величину до 4-х мм. При $\Delta t > 1^\circ\text{C}$ можуть бути усунені і більші дефекти форми.

Фізична суть впливу зменшення температури, і збільшення внаслідок цього СНКН, на величину обтиснення і товщину штаби полягає у збільшенні пружного радіального сплюснення валків, вигину робочих валків та між валкового зазору. Тобто відбувається зменшення обтиснення і збільшення

товщини штаби, що відповідним чином визначає характер неплоскостності штаби.

Для наближеного розрахунку зміни обтиснення для даного випадку подовжньої прокатки штаб використали модель, запропоновану в роботі [27] (для постійного модулю жорсткості штаби) :

$$\delta h_{\Pi} = \frac{P_i - P_1}{M_{\text{кл}}}, \quad (1.17)$$

де P_i і P_1 - сила прокатки в i -му режимі і у базовому режимі ; $M_{\text{кл}}$ - модуль жорсткості кліті.

Товщина штаби і зміна відносного обтиснення $\Delta \epsilon_t$ на виході з осередку деформації в i -му режимі на i -ій ділянці локального охолодження будуть рівні :

$$h_i = h + \delta h_{\Pi}; \quad \Delta \epsilon_t = \delta h_{\Pi} / H, \quad (1.18)$$

де h - базова товщина штаби; H - початкова товщина штаби.

З формули (1.17) виходить, що усі зміни в i -му процесі прокатки, що викликають збільшення сили P_i , призводять до збільшення (при $P_i > P_1$) і зменшення (при $P_i < P_1$) кінцевої товщини штаби.

Нижче приведені результати теоретичних досліджень зміни параметрів деформації штаби залежно від зміни її температури в межах $\Delta t = 1 \dots 20^\circ \text{C}$. Розрахунки виконані для умов прокатки на стані 1700(діаметр валків 500мм, товщина і ширина штаби до і після прокатки 1,1-0,9x1250мм, ст. марки 08пс, $M_{\text{кл}}=4,5 \text{ МН/мм}$, емульсія мінерального масла, шорсткість валків 3мкм R_a швидкість валків 15м/с, напруження натягнення переднє -40 Н/мм^2 , заднє -120 Н/мм^2). Середнє нормальне контактне напруження і інші параметри оередку деформації визначали по формулах з робіт [28,29].

Таблиця 1.3. Вплив Δt на параметри прокатки для товщини штаби $h=0,9 \text{ мм}$ ($B=1250 \text{ мм}$)

$\Delta t, ^\circ \text{C}$	$\sigma_{\text{т1}}, \text{ Н/мм}^2$	$\sigma_{\text{ф}}, \text{ Н/мм}^2$	$P_{\text{ср}}, \text{ Н/мм}^2$	$\delta h_{\Pi}, \text{ мм}$	$\Delta \epsilon_t$
0	395,44	400,35	563,10	0	0
2	395,82	400,65	563,62	0,001820	0,0017
4	396,22	400,95	564,14	0,003664	0,0033
6	396,62	401,26	564,67	0,005535	0,0050
8	397,02	401,57	565,21	0,00743	0,0068
10	397,43	401,89	565,75	0,009352	0,0085
12	397,85	402,21	566,30	0,011298	0,0103
14	398,26	402,53	566,85	0,013271	0,0121
16	398,69	402,86	567,42	0,015268	0,0139
17	399,12	403,19	567,99	0,017292	0,0157
18	399,56	403,53	568,57	0,019341	0,0176

Як видно з розрахункових даних, зменшення температури штаби на 10°C призводить до невеликого збільшення СНКН (всього на $2,65 \text{ Н/мм}^2$), але воно виявляється достатнім для зменшення відносного обтиснення на $\Delta\epsilon_t=0,85\%$ і, отже, зміні амплітуди неплоскостності більш ніж на $4,0\text{мм}$ [26]. Зміна товщини штаби в діапазоні $0,7\dots1,2\text{мм}$ впливає на параметр $\Delta\epsilon_t$ в 2-4 знаках після коми. На рис.1.15 представлені дані зміни Δt_i і $\Delta\epsilon_t$ на усій ширині штаби.

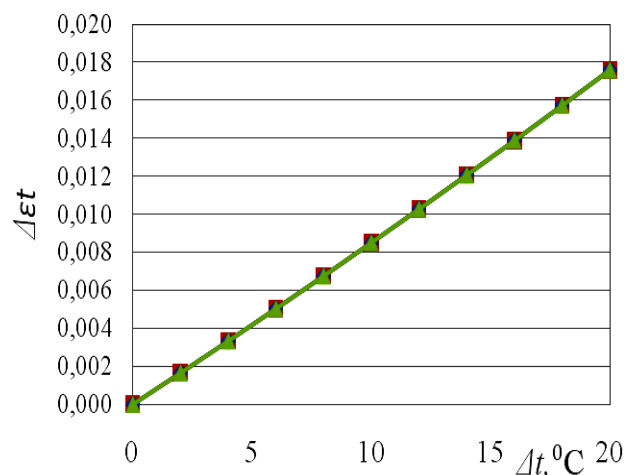


Рисунок 1.15 - Зменшення відносного обтиснення штаби внаслідок її охолодження

Для визначення $\Delta\epsilon_t$ на локальній ділянці ширини штаби в першому наближенні використовуємо формулу наступного виду

$$\delta h_{\Pi} = \frac{\delta P_i - \delta P_1}{M_{\text{кл}}} = \frac{P_i - P_1}{M_{\text{кл}}} \cdot \frac{B_{\text{л}}}{B}, \quad (1.19)$$

де B і $B_{\text{л}}$ - ширина штаби і ширина локальної ділянки охолодження ; δP_1 і δP_i - доля величини сили на ділянці шириною $B_{\text{л}}$ у базовому варіанті і після охолодження (при допущенні про рівномірний розподіл погонних сил по ширині штаби).

Таким чином, при $(B_{\text{л}}/B)<1$ параметри δh_{Π} і $\Delta\epsilon_t$, які вказані в таблиці.1.3 і на рис.1.15, будуть у $B_{\text{л}}/B$ раз менше. Так, наприклад, при $(B_{\text{л}}/B)=0,2$ і $\Delta t_i=4^{\circ}\text{C}$ зменшення відносного обтиснення складе $\Delta\epsilon_t=0,00066$, що також досить для дії на неплоскостність штаби.

Перевагою пропонованого способу регулювання міжвалкового зазору шляхом подання охолоджувача на локальні ділянки штаби являється наступне.

1.Забезпечується інтенсивне охолодження заданої ділянки штаби внаслідок значної різниці температури штаби перед кліттю ($100\dots200^{\circ}\text{C}$) і охолоджувача ($35\dots45^{\circ}\text{C}$).

2.Значною мірою виключається інерційність в процесі регулювання розмірів штаби на локальній ділянці.

3. Штаба потрапляючи у валки сама додатково їх охолоджує, що підвищує міру дії на міжвалковий зазор.