

ЛЕКЦІЯ 4

2. ПОДОВЖНЯ РІЗНОТОВЩИННІСТЬ ШТАБИ

ПЛАН ЛЕКЦІЇ

1. Метод розрахунку параметрів подовжньої різнотовщинності штаби.
2. Деякі відмінності сучасної і традиційної технологій.
3. Формування подовжньої різнотовщинності штаби.

2 ПОДОВЖНЯ РІЗНОТОВЩИННІСТЬ ШТАБИ

2.1 Метод розрахунку параметрів подовжньої різнотовщинності штаби

У розділі 1 отримані формули (1.3) і (1.6), що дозволяють визначити фактичну товщину штаби в цій клітві експериментальним шляхом при відомих значеннях сили прокатки P і модулі жорсткості клітві $M_{\text{кл}}$. В цьому випадку автоматично враховуються механічні властивості штаби, що деформується, які обумовлюють величину міжвалкового зазору. Дійсно, при деформації з $P=\text{const}$ сталевій штаби міжвалковий зазор (і товщина штаби) буде більше, ніж при деформації, наприклад, мідної штаби, оскільки напруження течії цього металу менша, ніж сталевій штаби. Вплив жорсткості металу штаби, що деформується, пояснюється схемою на рис.2.1.

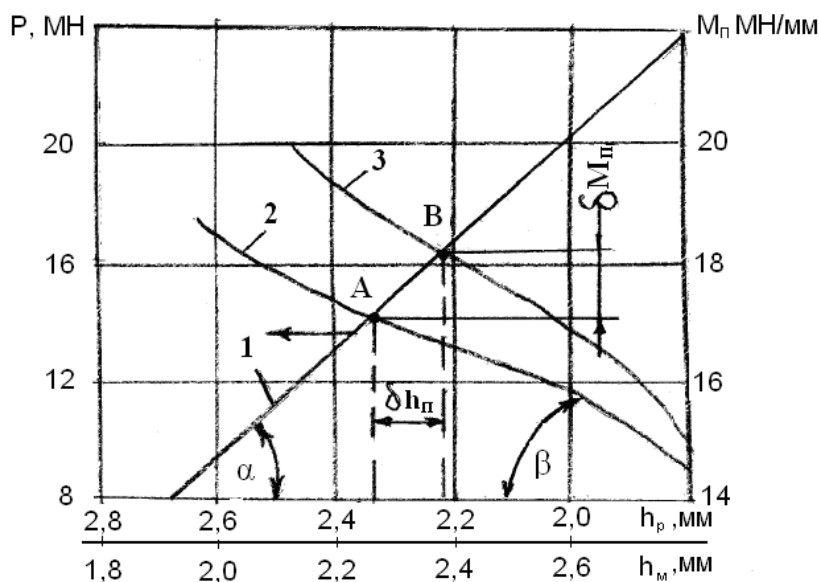


Рисунок 2.1 - Графічне рішення пошуку фактичної товщини штаби по розрахункових величинах P і $M_{\text{П}}$: 1 - зміна сили прокатки; 2 - зміна модуля жорсткості штаби; 3 - зміна модуля жорсткості штаби при збільшенні, наприклад, коефіцієнта тертя.

На рис.2.1 крива 1 показує зміну функції $P=F(h_p)$ (де h_p - величина зазору між валками, або товщина отриманої штаби при цьому значенні сили P) (див. розділ 1). Дані рис.2.1 отримано розрахунком при прокатуванні з наступними параметрами: $D_p = 500$ мм, $B = 1250$ мм, $H = 3$ мм, ст.08кп, $v = 2$ м/с; $\sigma_z = 20$ Н/мм², $\sigma_{\text{П}} = 150$ Н/мм²; $M_{\text{кл}} = 4,3$ МН/мм) (D_p - діаметр робочих валків; B - ширина штаби; H - товщина штаби; v - швидкість прокатки; σ_z і $\sigma_{\text{П}}$ - напруження натягнення відповідно задне і передне). Криві 2 і 3 відбивають зміну модуля жорсткості смуги $M_{\text{П}}=F(h_m)$.

Модуль жорсткості штаби визначено по формулах, які представлено вище. Крива 2 називається кривою пластичній деформації штаби. З рис. 2.1 слідує, що зі зменшенням товщини штаби (наприклад, при збільшенні обтиснення) сила P зростає, а інтенсивність підвищення сили P (кут нахилу кривої 1) при цьому обумовлена інтенсивністю зміцнення металу штаби. Модуль жорсткості штаби збільшується у міру зменшення товщини штаби і в зв'язку зі збільшенням напруження течії металу.

Точки «А», «В» перетину кривих 1 і 2 відповідають товщині, отримуваної при прокатуванні штаби. Так, для кривої 1 вихідна товщина h_M рівна $h_M \approx 2,27$ мм, а при збільшенні, наприклад, коефіцієнта тертя маємо $h_M \approx 2,38$ мм.

Приріст товщини штаби, в даному випадку, рівний $\delta h_{II} = 0,11$ мм, в загальному випадку, може бути визначено з диференціального рівняння [1]

$$dh = \frac{1}{M_{кл} - \partial P / \partial h} \left(M_{кл} \cdot dS + \frac{\partial P}{\partial H} dH + \frac{\partial P}{\partial B} dB + \frac{\partial P}{\partial R_p} dR_p + \frac{\partial P}{\partial \sigma_T} d\sigma_T + \right. \\ \left. + \frac{\partial P}{\partial f} df + \frac{\partial P}{\partial \sigma_{II}} d\sigma_{II} + \frac{\partial P}{\partial \sigma_0} d\sigma_0 \right), \quad (2.1)$$

Перша складова в дужках показує зміну сили P при зміні величини «забою» валків. Диференціали ($\partial P / \partial H$, $\partial P / \partial B$, и т. д.) у рівнянні (2.1) показують степе́нь зміни сили прокатки при зміні змінних параметрів на величину рівну dH , dB и т. д., і їх називають передатними коефіцієнтами. Оскільки друга складова відбиває зміну сили прокатки від незалежних змінних, тобто від початкових параметрів, то рівняння (2.1) представляють у виді

$$dh = \frac{\partial P}{M_{кл} - \frac{\partial P}{\partial h}}. \quad (2.2)$$

Друга складова в знаменнику є ні що інше, як приріст модуля жорсткості штаби при зміні того або іншого параметра прокатки. З урахуванням формули (2.2) і негативного, по відношенню до кута α , кута β нахилу кривої пластичної деформації, отримаємо

$$dh = \frac{dP}{M_{кл} + \delta M_{II}} \quad (2.3)$$

или в конечних разностях

$$\delta h = \frac{\delta P}{M_{кл} + \delta M_{II}}, \quad (2.4)$$

тобто зміна сили прокатки на величину δP призводить до зміни кінцевої товщини штаби на величину δh_{II} .

Приймаючи у формулі (2.1) усі параметри в другому співмножнику, окрім першого, рівними нулю (що не змінюються або мало змінюються по довжині) отримаємо

$$dh = \frac{M_{кл} \cdot dS}{M_{кл} + \delta M_{II}}. \quad (2.5)$$

Ця формула дає можливість визначити вплив зміни зазору між валками на подовжню товщину штаби, а відношення $K_S = dS / dh$ називається передатним коефіцієнтом::

$$K_S = \frac{dS}{dh} = \frac{M_{KL} + M_{\Pi}}{M_{KL}} = 1 + \frac{M_{\Pi}}{M_{KL}}. \quad (2.6)$$

Передатний коефіцієнт $K_S > 1$, т. е. величина переміщення натискних гвинтів по продуктиметру завжди більша, ніж зміна товщини штаби ($dS > dh$). Збільшення модуля жорсткості штаби викликає збільшення коефіцієнта K_S , а модуля жорсткості кліті - зменшення коефіцієнта K_S . У абсолютно жорсткій кліті ($M_{KL} = \infty$ або прокатка м'якого металу (свинець) коефіцієнт $K_S \rightarrow 1$ ($dS \approx dh$).

Формула (2.4) дозволяє розрахувати подовжню різнотовщинність штаби при гарячому і холодному прокатуванні. Інженерне рішення задачі визначення подовжньої різнотовщинності штаби стосовно розрахунку величини приросту потовщеного кінця при випуску його із стана запропоноване в роботах [27,30,31]. Зменшення (усунення) різнотовщинності штаби забезпечується різними методами.

На підставі викладеного теоретичного матеріалу нижче представлено метод розрахунку **приросту товщини по довжині штаби (подовжній різнотовщинності штаби)** в результаті дії різних технологічних параметрів [27,30,31]. Приріст товщини штаби з використанням формули (2.4) визначаємо по формулі (при $\delta P = P_i - P_M$).

$$\delta h_{\Pi} = \frac{P_i - P_M}{M_{KL} + \delta M_{\Pi}}, \quad (2.7)$$

де P_i і P_M - величини поточного і мінімального (на передньому кінці штаби) значень сил прокатки по довжині штаби.

З формули (2.7) виходить, будь-яка зміна сили P_i і модуля жорсткості штаби δM_{Π} по довжині внаслідок, наприклад, температури металу, товщини штаби, натягнення, швидкості або інших параметрів викликає зміну приросту δh_{Π} . Відмінність δM_{Π} між сусідніми розрахунковими даними визначається з формули

$$\delta M_{\Pi} = M_{\Pi i} - M_{\Pi M}, \quad (2.8)$$

де $M_{\Pi M}$ і $M_{\Pi i}$ - модулі жорсткості штаби мінімальний (на передньому кінці штаби) і у будь-якій іншій точці довжини штаби.

У теоретичному розрахунку P_i і P_M [28,29] (параметр δh_{Π} визначається шляхом ітератування по формулі (2.7). При цьому модуль жорсткості $M_{\Pi i}$ визначають з роботи [27,30,31]:

$$M_{\Pi i} = \varphi_i P_i / \Delta h_i; M_{\Pi M} = \varphi_M \cdot P_M / \Delta h_M. \quad (2.9)$$

Для горячої прокатки

$$\varphi_i = (0,57 + 0,62\varepsilon)[1 + 0,023(R/H)^{0.5}] \quad (2.10)$$

Для холодної прокатки

$$\varphi_i = [0,53 + 1,15(\varepsilon_i - 0,1)^2] \cdot (0,9 + 2f \cdot \sqrt{R/H})(0,78 + 2,2\varepsilon_i), \quad (2.11)$$

де φ_i - коефіцієнт пропорційності; Δh_i і Δh_M - абсолютне обтиснення в i -ій точці і в точці M_{PM} ; R - радіус валків; H - початкова товщина штаби в кліті; f - коефіцієнт тертя..

У першій ітерації за даними першого розрахунку P_i , P_M і M_{Pi} , розраховують величину δh_{Pi} . Потім визначають Δh_i , Δh_M і інші параметри, у тому числі і P_i , по яких розраховують нове значення δh_{Pi} в другій ітерації. Розрахунок параметрів P_M , M_{PM} і Δh_M в другій і інших ітераціях не виконують. Розрахунок δh_{Pi} за формулою (2.7) виконують до тих пір, поки різниця між сусідніми значеннями δh_{Pi} складе $\Delta = 0...0,3\%$. При $\Delta = 0$ розрахункова система "геометричній осередок деформації - сила прокатки" приходить в рівновагу, а при $\Delta = 0,3\%$ система близька до рівноваги.

2.2 Деякі відмінності сучасної і традиційної технологій гарячої прокатки штаб

Нині широко використовується технологія прокатки штаб з тонких слябів товщиною $H = 50...100$ мм, які отримують з рідкого металу на ливарно-прокатних агрегатах (ЛПА) та на станах з валковим розливанням (ВЛПА) [15,32,33]. Неперервні широкоштабові стани гарячої прокатки (ШСГП), які встановлено на ЛПА, оснащуються вдосконаленими конструкціями робочих клітей, системами автоматичного регулювання товщини, площинності штаби і міжклітьового натягнення. Вдосконалення технологічних процесів виробництва тонкої гарячекатаної штаби ($h=1,0...2,0$ мм) забезпечує підвищення техніко-економічних показників, зниження подовжньої і поперечної різнотовщинності штаб, отримання їх високої планшетності (площинності).

На подібних станах в основному відсутній проблеми поперечної і подовжньої різнотовщинності ($\delta h_{Pi} < 0,03...0,05$ мм) штаб завдяки використанню нових технічних удосконалень :

- застосування безперервного литва металу в ливарно-прокатному агрегаті дозволило отримувати довгі проміжні розкати (до 300м) для чистової групи ШСГП;

- застосування печі, що підігріває розкат, безпосередньо перед чистовою групою клітей ШСГП, що виключає появи різниці температур по довжині проміжного розкату;

- застосування гідравлічних натискних пристроїв в усіх клітях чистової групи із швидкістю переміщення плунжерів в вертикальній площині і, отже, валків із швидкістю більше 2 мм/с, що дозволяє виконувати оперативне контрольоване регулювання товщини штаби в процесі прокатки;

- застосування CVC - профілювання (с S-образним профілем бочки) забезпечує оперативне регулювання поперечної різнотовщинності штаб в процесі прокатки.

Якість подовжнього профілю гарячекатаних і холоднокатаних штаб оцінюють величиною відхилень фактичної товщини штаби від мінімальної

товщини по її довжині, отриманій при мінімальній силі прокатки. Відхилення товщини по довжині штаби формують її подовжню різнотовщинність. У загальному випадку розрізняють високочастотну і низькочастотну різнотовщинність по довжині штаби.

Високочастотна різнотовщинність штаби утворюється в основному внаслідок биття бочок робочих і опорних валків відносно опорних шийок, а низькочастотна різнотовщинність по довжині штаби утворюється в результаті зміни механічних властивостей металу внаслідок, наприклад, зменшення температури, відсутності напруження натягнення кінцевих ділянок штаб, зміни окружних швидкостей валків при холодному прокатуванні кінцевих ділянок на неперервних станах порулонній прокатки.

У роботі [35] автори відмічають, що внаслідок різноманіття випадкових чинників, діючих в процесі прокатки формування різнотовщинності штаби можна розглядати як випадковий процес. Практика роботи сучасних ЛПА (ливарно-прокатних агрегатів)[36,37] свідчить про те, що при усуненні впливу випадкових чинників в процесі гарячої прокатки забезпечується подовжня точність в межах 1% (від товщини) на усьому сортаменті штаб. У підтвердженні цього в роботі [37] приведена профілограма зміни товщини штаби (2,3x1190мм), з якої виходить, що максимальне відхилення товщини на кінцевих ділянках складає всього 30 мкм (0,03мм). При цьому відсутній "температурний клин" зміни товщини по довжині штаби. Така точність по довжині штаби забезпечується високою мірою стабілізації процесу прокатки за рахунок:

- високій точності виготовлення валків (профілювання - шліфування в подушках з точністю обробки бочки до 0,003мм);
- виключення температурного перепаду по довжині розкату (литого сляба) шляхом підігрівання його до 1100...1150⁰С в тунельній печі завдовжки до 300м, встановленою перед станом;
- при використанні перед чистовою групою клітей ППУ (Coilbox) розкат підігрівають перед намотуванням в ППУ з тепловими екранами для вирівнювання температури по довжині розкату;
- застосування АСУТП (автоматична система управління технологічним процесом) в комплексі з гідравлічними натискними пристроями для оперативного регулювання міжвалкового зазору, наприклад, при прокатуванні кінцевих ділянок штаб.

Досі на багатьох металургійних підприємствах тонкі штаби (h=1,8...3,0мм) роблять з товстих слябів (H=160.300мм) на комплексах КМШС (МНЛЗ+ШСГП) і із зливків, що прокатуються на слябінгах. Заміна слябінгу в традиційній технології виробництва штаб на МНЛЗ забезпечив істотне скорочення витрати металу і енерговитрат на прокатку штаб. Процес КМШС застосовується як при створенні нових виробництв [32,33], так і при реконструкції існуючих ШСГП з традиційною технологією прокатки штаб. На КМШС власне прокатні стани мають практично подібну схему розташування робочих клітей як і на ШСГП з традиційною технологією прокатки (з

використанням зливків) : чорнова група (3-5 клітей з додаванням кліті для редукування сляба по ширині) і чистова група (5-7 клітей), але з якіснішими характеристиками устаткування, що дозволяють прокатувати штаби з товщиною $h=1,5\text{мм}$ при швидкостях $v > 20\text{м/с}$.

На існуючих КМШС технологічний процес власне на ШСГП має ряд недоліків [2,3, 33] :

а-великі відстані між сусідніми послідовно розташованими клітями (19-35м) в чорнових групах і між чорновий і чистовий групами (проміжний рольганг завдовжки 60-130м) приводять до зниження температури розкату на $180...200^{\circ}\text{C}$ (в порівнянні з початковою температурою сляба), що призводить до виникнення значних силових навантажень на валки і на головний привід, до підвищених енерговитрат;

б- зниження температури по довжині проміжного розкату в процесі прокатки його в клітях чистової групи обумовлює підвищення сили прокатки, пружних деформацій кліті і, отже, подовжньої різнотовщинності штаб (оскільки задній кінець розкату входить у валки кліті № 1 чистової групи на 30...100с пізніше за вхід в кліть переднього кінця розкату);

в- у неперервній групі клітей стана штабу (окрім кінцевих ділянок) прокатують з натягненням $15...25\text{Н/мм}^2$. Відсутність натягнення при прокатуванні кінцевих ділянок штаби обумовлює збільшення сили прокатки, пружних деформацій кліті, потовщення штаби і підвищення витрат металу в обрізь;

г - на деяких станах для зниження подовжньої різнотовщинності при прокатуванні штаб застосовують прискорення обертання валків. Прискорюють обертання валків в усіх 6-7 клітях чистової групи, що призводить до значних енерговитрат [22, 34];

д- для поліпшення подовжнього профілю штаб на деяких ШСГП встановлені проміжні пристрої перемотувань проміжного розкату (ППУ-койлбокс) (Канада). Проте розташування ППУ перед клітями чистової групи (6,7 клітей) для змотування порівняно товстого проміжного розкату ($h=20...38\text{мм}$) не дозволяє використати повною мірою позитивні особливості застосування койлбоксу [31, 34].

Очевидно, що не дотримання вказаних вище умов прокатки на традиційному широкоштабовому стані гарячої прокатки (ШСГП) не дозволяє отримувати штаби з високою якістю подовжнього профілю. Це відноситься до ШСГП 1700 Маріупольського меткомбінату і ШСГП 1680 меткомбінату "Запоріжсталь", хоча і на цих станах останніми роками виконані удосконалення технологічного процесу і устаткування, підвищення технологічних показників, що забезпечують підвищення якості, у тому числі, і подовжнього профілю штаб. Так, на ШСГП 1700 для 94% загальної кількості готових штаб завтовшки 2...5мм на 95...96% довжини основної частини штаби (без кінцевих ділянок) максимальне відхилення товщини не перевищує $+0,05\text{мм}$ [38]. Застосування теплового екрану на проміжному рольганзі забезпечує підвищення температури заднього кінця розкатів на $10...15^{\circ}\text{C}$ і зниження

потовщення цієї ділянки готової штаби на 0,03...0,05мм. Реалізація, рекомендованого в роботі [38] варіанту реконструкції ШСГП 1700 з установкою другого теплового пристрою і ППУ у складі чистової групи клітей, може забезпечити істотне, крім усього іншого, зменшення відхилень товщини по довжині штаби [39,40].

Таким чином, при сучасній раціональній технології гарячого прокатування забезпечується отримання штабової сталі у повному обсязі з подовжньою різнотовщинністю в межах $\delta h_{\text{ДПР}} < 0,05\text{мм}$, яку не можливо отримати на станах з традиційною технологією без застосування спеціальних заходів.

2.3 Формування подовжньої різнотовщинності штаби

Проблеми усунення (зменшення) подовжньої різнотовщинності штаб, як було відмічено вище, існують на ШСГП з традиційним складом устаткування (чорнова і чистова група клітей). Зокрема, це в першу чергу відноситься до кінцевих потовщень, особливо на задньому кінці штаби, який у будь-якому випадку прокатують при меншій температурі і за відсутності заднього натягнення.

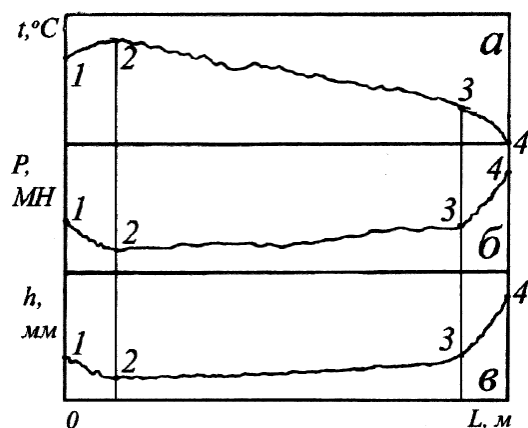


Рисунок 2.2- Схема зміни температури металу (t), сили прокатки (P) і товщини штаби (h) по її довжині: 1 - 4 - характерні ділянки довжини штаби (традиційна технологія)

Збільшення при цьому сили прокатки в порівнянні з силою на передньому кінці і обумовлює істотний приріст товщини штаби.

При гарячому прокатуванні штаб з транзитною передачею товстих слябів із слябінгу на ШСГП (без койлбокса) в чистовій групі неперервного стана усі технологічні і силові параметри змінюються від переднього кінця до заднього кінця штаби (рис. 2.2). Найбільша температура проміжного розкату має місце на ділянці

1 - 2. Причому на ділянці 1 температура розкату може бути дещо менша, ніж на ділянці 2 внаслідок інтенсивнішого охолодження торців сляба (розкату). Задню кінцеву ділянку розкату (штаби) прокатують пізніше, ніж передній і тому температура металу на ділянці 3 - 4 буде істотно менше, ніж на ділянці

1 - 2. Така зміна температури обумовлює відповідну зміну сили P прокатки штаби при мінімальному значенні сили на ділянці 2 і при максимальному на ділянці 4.

Окрім впливу температури на зміну сили P у бік її збільшення сприяє відсутність переднього натягнення на ділянці 1 і заднього натягнення на ділянці 4. Ділянку 2 - 3 штаби прокатують за наявності переднього і заднього

натягнень, а збільшення товщини h штаби на ділянці 2 - 3 обумовлено зниженням температури розкату (штаби) від переднього до заднього кінця при русі штаби на проміжному рольгангу по клітках стана.

Нижче представлений аналіз промислових профілограмм при прокатуванні штаб на ШСГП 1680 меткомбінату ПАТ «Запоріжсталь»

[3-5,31,34 На ШСГП 1680 [11] встановлені 10 клітей: чорновий двохвалковий окалиноломач (ОК) з діаметром валків $D=900\text{мм}$ і 4-і чорнові кліті кварто з діаметрами робочих валків $D(\text{мм})$ і потужністю N головних приводів, (кВт): №1 - $D=940$ ($N=6300$), №2-850 (4000), №№ 3,4-588 (4000). Допускається незначне перевантаження головних приводів. У чистовій групі шість клітей кварто (№№5-10) з робочими валками максимальним діаметром 620мм (потужністю $N=7000$ кВт в кожній кліті) (чавунні валки з вибіленим шаром твердістю по Шору- 63...72 HSD).

Прокатують сляби в основному з вуглецевої сталі завтовшки 150...168мм, шириною 1000...1500мм і завдовжки 4,5...4,7м (одинарні) і 9,0...9,3м у разі використання ППУ. Товщина проміжного розкату після кліті №4 складає $H_{\text{пр}}=20\ldots28\text{мм}$. ППУ встановлене на проміжному рольгангу між кліттю №4 чорнової групи і кліттю №5 чистової групи. .

У шести клітках чистової групи прокатують штаби завтовшки 2,0...8,0мм з максимальною швидкістю в кліті №10- 9,2м/с. Кліті №№ 8-10 обладнані пристроями протипрогину робочих валків. У чорновій групі у неперервному режимі прокатки працюють кліті №№: ОК-1; 2-3 і 3-4, тобто на ділянках, де довжина розкату більше відстані між клітками.

На рис. 2.3 показана характерна профілограма зміни товщини штаби 2×1100 мм, яка прокатана на ШСГП 1680 за відсутності достатньої кількості каналів регулювання міжвалкового зазору. Як слідує з рис. 2.3, величина відхилень товщини штаби на основній довжині ($\sim 85\%$), у тому числі і на передньому кінці складає $\delta h_{\text{п}} = 0,02\ldots0,07$ мм. (ділянка 2-3). Підвищення товщини штаби до задньої кінцевої ділянки, за наявності переднього і заднього натягнень, обумовлено зниженням температури (температурним градієнтом). Потовщення заднього кінця штаби відносно мінімальної товщини на передньому кінці складає $\delta h_{\text{п}} = 0,2$ мм, незважаючи на додаткове обтиснення задньої кінцевої ділянки в клітках № 6 - 9. Для усунення приросту товщини на ділянці 2 - 3 потрібно монотонне безперервне зменшення міжвалкового зазору. На ділянці 3 - 4, де відбувається додатковий приріст товщини внаслідок відсутності натягнення заднього кінця в усіх клітках чистової групи, потрібне застосування локальної дії на процес прокатки для відповідного зменшення міжвалкового зазору.

У 2008р. в лінії широкосмугового стана ШСГП 1680 меткомбінату "Запоріжсталь" було встановлено проміжний пристрій (ППУ) перемотування розкату[31]. ППУ встановлене на проміжному рольгангу між кліттю №4 чорнової групи і кліттю №5 чистової групи (рис.2.4) (на відстані $\sim 28\text{м}$ від кліті №5).

З рис.2.4 слідує, що в лінії проміжного рольгангу відсутні які-небудь пристрої (окрім ППУ), що забезпечують збереження теплотісту проміжного розкату завтовшки $H_{\text{пр}}=20\ldots 28\text{мм}$ (поз.7,8 – це пропозиція). Втрати тепла розкатом на ШСГП 1680 відбуваються до і після ППУ, а загальне зниження температури на передньому кінці розкату складають $80\ldots 100^{\circ}\text{C}$ (залежно від товщини розкату і його температури після кліті №4).

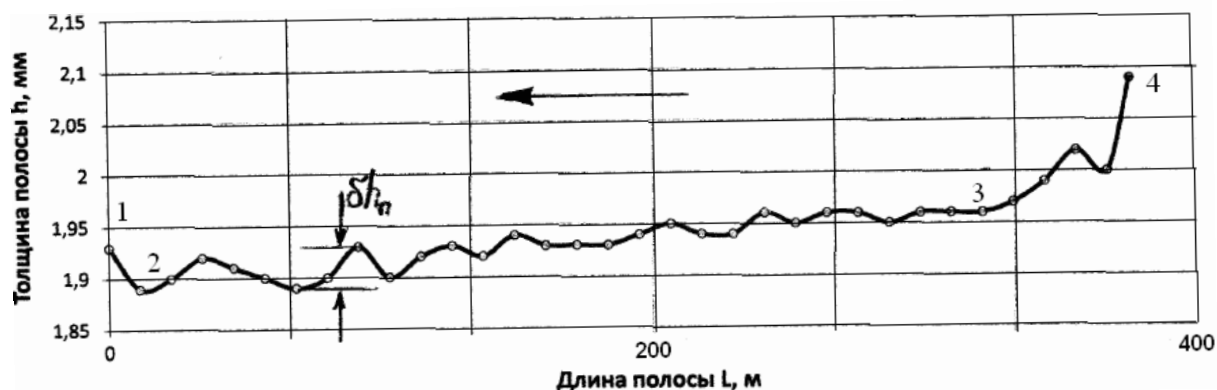


Рисунок 2.3- Профілограма зміни товщини по довжині штаби (ст. 08пс) при прокатуванні без койлбокса. Дані меткомбінату "Запоріжсталь"

Установка ППУ на проміжному рольгангу робить деякий вплив на подовжню різнотовщинність штаб. Характерний вид подовжного профілю штаби з розмірами $2 \times 1000\text{мм}$, яка прокатана із застосуванням ППУ, представлений на рис.2.5. Профілограму на рис.2.5 можна представити у вигляді п'яти ділянок: I - прокатка переднього кінця (виміри 1-5); II - збільшення товщини штаби (5-18); III - відносно постійна товщина штаби (18-38); IV - зменшення товщини штаби (38-61); V - збільшення товщини на

$\delta h_{\text{п}} = 0,15\text{мм}$ при прокатуванні заднього кінця штаби без натягнення (61-65)[31,34].

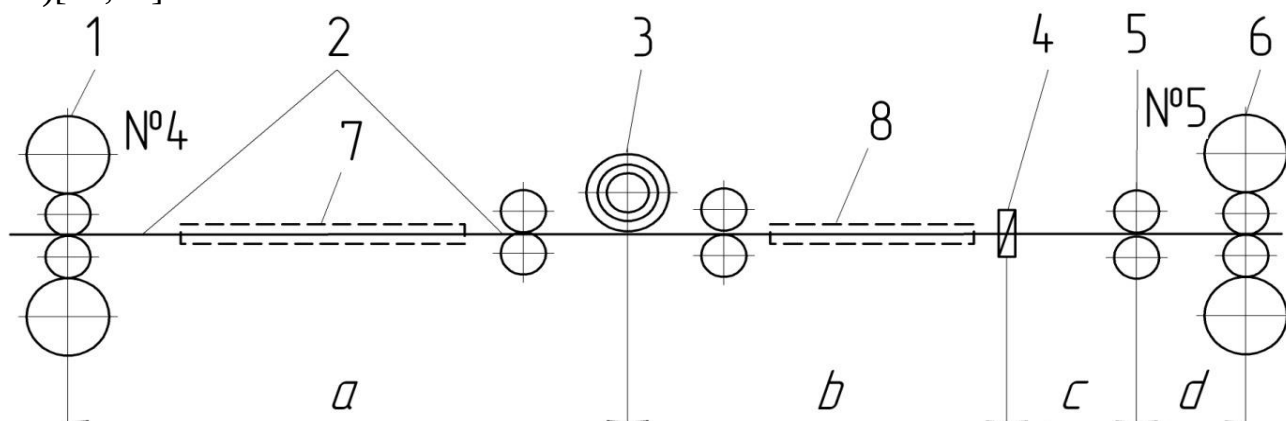


Рисунок 2.4- Ділянка проміжного рольгангу ШСГП 1680: 1 - чорнова кліть №4; 2 - проміжний рольганг ($a \approx 37\text{м}$); 3 - ППУ; 4 - ножиці кінцеві ($b \approx 10\text{м}$); 5 - чистовий двохвалковий окалиноломач ($c \approx 12\text{мм}$); 6 - перша чистова кліть №5 ($d \approx 6\text{м}$); 7,8 - індукційні пічі, що підігрівають (це пропозиція, нині відсутні). Усі розміри дані для існуючого розташування устаткування

Приведений вид профілограми обумовлений особливостями використання ППУ, коли проміжний розкат охолоджується тривалий час: при змотуванні його в рулон і при розмотуванні його для прокатки в чистовій групі ШСП. Передній кінець штаби прокатується із заднього кінця проміжного розкату, який задають в кліть №5 (першу кліть чистової групи) при температурі $t \approx 980 \dots 1010^\circ\text{C}$. Перша точка виміру з товщиною 2,0 мм на ділянці I відповідає прокатки «язика», ширина якого менше ширини штаби. У точці 2 (в порівнянні з точкою 1) товщина переднього кінця штаби збільшилася на $\sim 0,04$ мм внаслідок прокатки його без натягнення.

Початку процесу, що встановився, відповідає точка 4, де товщина штаби рівна $h=2,0$ мм (відстань між точками вимірів 1-4 рівне ~ 30 м). На ділянці II (швидкість розкату перед кліттю №5 рівна $\sim 0,85$ м/с) відбувається збільшення товщини штаби, внаслідок зменшення температури проміжного розкату, при незмінних усіх інших параметрах. Зменшення температури зовнішніх витків проміжного розкату відбувається в процесі їх намотування і розмотування.

На ділянці IV (точки 38-61), яка відповідає передньому кінцю проміжного розкату (задній кінець штаби), спостерігається протилежна картина. Точка виміру 61 відповідає закінченню процесу (у кліті №10), що встановився, і на проміжному розкаті ділянка 61 розташований на відстані $\sim 3,0 \dots 4,0$ м від його переднього торця при виході з кліті №4. Збільшення товщини штаби до середини її довжини (у бік зменшення номера виміру) логічно, оскільки обумовлено зменшенням температури проміжного розкату в напрямі від переднього до заднього кінця в ППУ. На початкове температурне поле витків цієї ділянки, очевидно, накладається і зниження температури при намотуванні-розмотуванні рулону



Рисунок 2.5- Зміна товщини штаби 2×1000 мм із сталі марки 1пс, яка прокатана з використанням Coilbox (довжина сляба $L = 9,3$ м). (Дані меткомбінату «Запоріжсталь»)

Витки середньої III-ої ділянки рулону розташовані між зовнішніми і внутрішніми витками, що визначає стабільність температури і приблизно однакову товщину штаби в точках вимірів 18-38.

Ділянку V, починаючи з кліті №5 і в кожній подальшій кліті, прокатувають без заднього натягнення і при зменшенні температури штаби по довжині ділянки, що викликає збільшення середнього нормального контактного напруження, сили прокатки, пружних деформацій кліті і, отже, товщина штаби (виміри 61-65). Приріст товщини штаби на ділянці V в різних умовах прокатки складає $\delta h_{II}=0,08\ldots 0,15\text{мм}$.

При прокатуванні штаб завтовшки $h>2,5\text{мм}$ характер зміни товщини по довжині, в основному, залишається таким же, але величина відхилень δh_{II} різна. В умовах ШСГП 1680 прокатувають штаби, подовжній профіль яких має різний вигляд, що виходить з отриманих профілограм. Наприклад, прокатувають штаби з помітним (до $\sim 0,15\text{мм}$) зменшенням товщини в напрямі від переднього до заднього кінця штаби; з приблизно однаковою товщиною штаби на ділянках II - IV; штаби зі збільшеною товщиною довжиною кінцевих ділянок до 40...50м. Таким чином, подовжні профілі штаб при прокатуванні із застосуванням Coilbox мають різноманітний вигляд, що обумовлено нерівномірним розподілом температури по довжині проміжного розкату і особливостями роботи Coilbox, внаслідок яких цей пристрій не завжди виконує основній своїй функції: отримання рівнотовщинної по довжині готової штаби і зменшення товщини кінцевих ділянок.

При прокатуванні без Coilbox передній кінець проміжного розкату проходить за $\sim 34\text{с}$ відстань між клітями №4 і №5 (проміжний рольганг ШСГП 1680 довжиною $L\approx 65\text{м}$, швидкість виходу розкату з кліті №4 і рольганга прийнята рівними $v\approx 1,9\text{м/с}$). При використанні Coilbox (ППУ) передній кінець проміжного розкату, після виходу з кліті №4, через 20с поступає до ППУ. Далі йде змотування в рулон до виходу заднього кінця з кліті №4 - час -11с, змотування з прискоренням -8с, передача рулону на розмотування - 5с, подання переднього (верхнього) кінця рулону до кліті №5- 14с. Загальний час після виходу переднього кінця розкату з кліті №4 до вступу штаби до валків кліті №5 складає -58с, що в 1,7 разу більше, ніж без ППУ(см вище) і це призводить до додаткових втрат теплоємності проміжного розкату.

Невелика маса рулону (до 13т) сприяє нерівномірному розподілу температури по його перерізу, що обумовлено зменшенням температури по довжині початкового проміжного розкату, тривалим охолодженням внутрішніх витків рулону при його змотуванні і розмотуванні, можливі затримки рулону перед розмотуванням, відсутність екранування ППУ. Проте, установка Coilbox в лінії ШСГП 1680 зіграла свою позитивну роль забезпечивши прокатку тонких штаб з довгомірних слябів (завдовжки 9,0...9,3м і масою 11...13т), підвищивши тим самим техніко-економічні показники роботи стана.

Проте проблема підвищення якості подовжного профілю штаб і усунення потовщених їх задніх ділянок при цьому не розв'язана. Для вирішення цих завдань потрібне застосування на стані додаткових технічних заходів.

Підвищення точності подовжного профілю і забезпечення прокатки штаб завтовшки $h < 2,0$ мм на ШСГП 1680 меткомбінату "Запоріжсталь" може бути досягнута шляхом здійснення технічних заходів по стабілізації теплового стану штаби і підвищення температури проміжного розкату. Це може бути виконано шляхом застосування обладнання для теплосберігання (ТСО) завдовжки ~ 34 м перед ППУ і індукційній печі (ИПП), що підігріває, завдовжки ~ 10 м (рис.2.4) перед чистовою групою після перенесення ножиць ближче до окалиноломача ($s \approx 6$ м). ТСО зберігає і вирівнює температуру по довжині розкату, а ИПП дозволяє в процесі прокатки від переднього кінця до заднього збільшити температуру на $30 \dots 50^\circ\text{C}$. Сам же агрегат змотування - розмотування (ППУ) необхідно екранувати власним ТСО.

Ці технічні заходи, як показує досвід [36-38], можуть забезпечити зниження низькочастотної різнотовщинності штаб при прокатуванні, як без прискорення, так і з прискоренням штаб. Проте ці заходи не зможуть усунути потовщення задньої кінцевої ділянки штаби. Потрібна додаткова дія на задню ділянку проміжного розкату завдовжки $3 \dots 5$ м з метою компенсації збільшення його товщини внаслідок відсутності заднього натягнення.