

Корисна модель відноситься до прокатного виробництва, а саме - до виробництва товстих листів на реверсивних станах.

Відомий спосіб плющення товстих листів, по якому для зменшення подовжньої різнотовщинності на станах, не обладнаних системами регулювання, збільшують прискорення головного приводу з метою зниження довжини стоншених ділянок розкату до величини бічної обрізі [Долженков Ф.Е., Гончаров В.Е., Будаков А.А. Уменьшение скоростной составляющей продольной разнотолщинности толстых листов. / Совершенствование технологии прокатки, термообработки и отделки толстолистого проката: Темат. отр. сб.- М.: Металлургия, 1987. - с.12].

Проте цей спосіб не усуває подовжню різнотовщинність, а тільки зменшує довжину кінців розкату з різнотовщинністю за допомогою зміни швидкісного режиму плющення.

Існує також спосіб плющення товстих листів, що включає розгін валків від швидкості захоплення металу до максимальних обертів, зміну обертів залежно від зміни температури металу по довжині розкату і гальмування валків до швидкості викидання металу з валків [Патент України 73831 МПК В21В1/22, В21В37/46, 15.09.2005, Бюл. №9, 2005г.].

Недоліком існуючого способу є неможливість повного усунення подовжньої різнотовщинності розкату, оскільки регулюючий вплив - зміна швидкості плющення - визначається в залежності тільки від температури металу. Цей спосіб не враховує впливу різнотовщинності підкату на силу плющення і не здатний забезпечити необхідну (номінальну) товщину через те, що розташування в розкаті перетину з номінальною температурою, якій відповідає номінальна товщина, не відоме. Фактично цей спосіб тільки запобігає виникненню різнотовщинності від перепаду температур по довжині розкату за умови, що різнотовщинність у підкату відсутня.

В основу корисної моделі поставлено завдання розробки такого способу плющення товстих листів, в якому завдяки одночасному вимірюванню товщини і температури по довжині розкату і стабілізації зусилля плющення зміною швидкості деформації за допомогою однакової зміни кутової швидкості обох робочих валків, забезпечується отримання необхідної товщини і повне усунення подовжньої різнотовщинності, що значно підвищує якість листів.

Поставлене завдання розв'язується тим, що в способі плющення товстих листів, що включає розгін валків від швидкості захоплення металу, зміну обертів валків в залежності від змінення температури металу по довжині розкату і гальмування валків до швидкості викидання металу, згідно корисної моделі, перед проходом одночасно з температурою вимірюють товщину розкату по його довжині і після досягнення валками номінальних обертів ω_H , що становлять $0,85 \div 0,95$ від максимальних ω_{\max} оберти регулюють залежно від змінених температури і товщини по залежності:

$$\omega_i = \omega_H \left(\frac{t_i^0}{t_H^0} \right)^{\frac{c}{a}} \left(\frac{\varepsilon_H}{\varepsilon_i} \right)^{1+\frac{b}{a}} \left(\frac{L_i}{L_H} \right)^{1-\frac{1}{a}} \left(\frac{n_{\sigma_H}}{n_{\sigma_i}} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (1)$$

де ω_i - кутова швидкість в і-му перетині, c^{-1} ;

t_i^0, t_H^0 - температура в і-му перетині і в перетині з номінальною товщиною, $^{\circ}C$;

ε_H - ступінь деформації в перетині з номінальною товщиною:

$$\varepsilon_H = \frac{\Delta h}{h_0},$$

де $\Delta h, h_0$ - обтиск і початкова товщина розкату у даному проході, мм;

ε_i - ступінь деформації в і-му перетині:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h + \delta h}{h_0},$$

де δh - зміряне товщиноміром відхилення товщини від номінального значення, мм;

L_H - довжина осередку деформації в перетині з номінальною товщиною:

$$L_H = \sqrt{R \cdot \Delta h},$$

де R - радіус робочих валків, мм;

L_i - довжина осередку деформації в і-му перетині:

$$L_i = \sqrt{R(\Delta h + \delta h)};$$

$n_{\sigma_H}, n_{\sigma_i}$ - залежні від товщини розкату коефіцієнти напруженого стану в перетині з номінальною товщиною і в і-му перетині;

a, b, c - показники ступенів швидкісного і деформаційного зміцнення і температурного розміцнення даної марки стали відповідно по Л.Андреюку і Г.Тюленеву. Беруться з довідників по пластометричним даним для металів [ив. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки. М.: Металлургия, 1986. - с.19]

Одночасне вимірювання температури і товщини перед проходом дозволить повністю усунути подовжню різнотовщинність товстих листів завдяки залежності товщини розкату від швидкості обертання валків робочої кліті і забезпечить задану товщину.

Вибір співвідношення між номінальними і поточними обертами валків обумовлений необхідністю зменшення до нуля різниці в товщині всіх перетинів по довжині розкатів.

Відомо, що по формулі Сімса-Головіна товщина розкату в його довільному перетині залежить від сили плющення таким чином:

$$h = S + \frac{P}{M_{\text{кл}}}.$$

Величина різнотовщинності в довільному і-му перетині дорівнюватиме:

$$\delta h_i = h_i - h_n = \left(S + \frac{P_i}{M_{\text{кл}}} \right) - \left(S + \frac{P_n}{M_{\text{кл}}} \right) = \frac{1}{M_{\text{кл}}} (P_i - P_n),$$

де індекс «н» відноситься до перетину з номінальною товщиною.

Сила плющення в загальному випадку:

$$P = \beta \cdot n_{\sigma} \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot L_d \cdot b_{\text{ср}} \quad (2)$$

де: β - коефіцієнт Лоде;

n_{σ} - коефіцієнт напруженого стану;

L_d - довжина осередку деформації;

$b_{\text{ср}}$ - середня товщина смуги, яку плющать.

Враховуючи зміну ступеня деформації, довжини осередку деформації і коефіцієнта напруженого стану від різнотовщинності, одержуємо:

$$P_i - P_n = 0$$

$$n_{\sigma_i} \cdot \sigma_{\text{и}_i} \cdot L_{d_i} = n_{\sigma_n} \cdot \sigma_{\text{и}_n} \cdot L_{d_n} \quad (3)$$

де: $\sigma_{\text{и}_i}, \sigma_{\text{и}_n}$ - опір деформації в перетинах з номінальною і поточною товщиною.

Опір деформації з достатньою для практики точністю визначається по емпіричній формулі Л.Андріюка і Г.Тюленева [ив. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки. М.: Металлургия, 1986. - с.18].

$$\sigma_{\text{и}} = S \cdot \sigma_0 \cdot u^a \cdot (10\varepsilon)^b \cdot \left(\frac{t^\circ}{1000} \right)^{-c} \quad (4)$$

Коефіцієнт напруженого стану можна визначати по будь-якій відомій залежності.

Використовуючи (3) і (4), маємо:

$$u_i^a \varepsilon_i^b t_i^{-c} n_{\sigma_i} L_i = u_n^a \varepsilon_n^b t_n^{-c} n_{\sigma_n} L_n,$$

де: u_i - швидкість деформації в і-му перетині з температурою t_i , яка забезпечує рівність товщини розкату номінальній.

Тому:

$$u_i = u_n \cdot \left(\frac{t_i}{t_n} \right)^{\frac{c}{a}} \left(\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_i} \right)^{\frac{b}{a}} \left(\frac{L_n}{L_i} \right)^{\frac{1}{a}} \left(\frac{n_{\sigma_n}}{n_{\sigma_i}} \right)^{\frac{1}{a}}.$$

Оскільки кутова швидкість плющення ω дорівнює:

$$u = \frac{\omega R \varepsilon}{L_d},$$

то остаточно одержуємо співвідношення (1).

Інтервал $\omega_n = (0,8 \div 0,95) \cdot \omega_{\text{max}}$ обумовлений необхідністю усунення негативної різнотовщинності при мінімальному зниженні продуктивності кліті. Для усунення негативної різнотовщинності, коли товщина розкату в перетині менше номінальної, швидкість плющення потрібно збільшувати. Отже, плющення при номінальній товщині необхідно вести із швидкістю ω_n дещо меншій, ніж максимально можлива для даної кліті. Але ω_n не повинна бути значно менше ω_{max} щоб уникнути істотного зниження продуктивності кліті. Вищенаведений інтервал відповідає цим вимогам.

На Фіг.1 наведена характерна зміна товщини по довжині розкату, прокатаного на реверсивному ТЛС. Суцільною кривою позначена зміна температури по довжині. Видно, що товщина збільшується в тих перетинах, де в результаті контакту з глісажними трубами нагрівальної печі (так званих глісажних позначок) температура менша, а зусилля плющення - більше, ніж в інших перетинах розкату. На Фіг.2 показано змінення кількості обертів валків за запропонованим способом плющення залежно від розподілу товщини по довжині розкату.

Спосіб здійснюється таким чином.

Оператор вводить у мікропроцесор, пов'язаний з системою автоматичного управління (САУ) головним двигуном, значення номінальної товщини розкату h_n в даному проході відповідно до технологічної інструкції і реологічні параметри a, b, c сталі, що прокатується. Оператор також вводить в мікропроцесор номінальну кількість обертів валків ω_n , яка вибирається заздалегідь залежно від максимальної кутової швидкості даної кліті ω_{max} по співвідношенню $\omega_n = (0,85 \div 0,95) \cdot \omega_{\text{max}}$.

Після захоплення металу валками кількість їх обертів збільшують до величини ω_n . З цієї швидкості прокатується передній кінець розкату, який надалі вилучається в обріз. Далі починається процес регулювання кутової швидкості для усунення різнотовщинності за допомогою існуючої САУ головними двигунами кліті, яка повинна тепер бути вдосконалена введенням контуру регулювання по товщині і температурі розкату, що вимірюються перед проходом. Для спрощення процесу регулювання зміна швидкості відбувається лінійно між критичними перетинами (Фіг.2), де мають місце екстремальні значення товщини. Потрібні швидкості в критичних і-х перетинах обчислюються мікропроцесором по (1) і відпрацьовуються САУ головними двигунами.

На кінцях розкату, які через інтенсивніше охолодження мають знижену температуру і збільшену товщину внаслідок підвищеної сили плющення, різнотовщинність не усувається, оскільки кінці все рівно відрізаються ножицями. Їх довжина визначається майстром стану залежно від форми розкату в плані.

Приклад здійснення способу.

На ТЛС 2800 здійснюється плющення розкату 16x1700x 13800мм із сталі 3сп. Подовжня різновтовщинність усувається в останньому проході, де обтиск дорівнює 3мм. Модуль жорсткості чистової кліті $M_k=3,136\text{Мн/мм}$, діаметр робочих валків 800мм, максимальна кутова швидкість - $12,48\text{с}^{-1}$. Перед проходом товщиноміром зміряна товщина в перетинах по довжині з кроком 300мм і температура в них (Фіг.1). Номінальна товщина $h_n=16\text{мм}$. Перший максимум товщини (в середині першої глісажної позначки) знаходиться на відстані 2400мм від переднього кінця (перетин I, Фіг.2). Мінімум - на відстані 5700 ÷ 6600мм (перетини II ÷ III). Другий максимум - на відстані 9900 ÷ 10200мм (перетини IV ÷ V).

Плющення переднього кінця завдовжки 600мм, який вилучається в обріз, починається на швидкості $\omega_n=0,88-12,48=11\text{с}^{-1}$.

У перетині I для усунення початкової різновтовщинності δh_L , що дорівнює 0,05мм (Фіг.1 і табл.1), кутова швидкість повинна бути:

$$\omega_1 = 11 \cdot \left(\frac{932}{936} \right)^{\frac{2,54}{0,124}} \left(\frac{0,1579}{0,1605} \right)^{1+\frac{0,167}{0,124}} \left(\frac{34,928}{34,641} \right)^{1-\frac{1}{0,124}} \left(\frac{1,242}{1,247} \right)^{\frac{1}{0,124}} = 8,90242\text{с}^{-1}$$

де для сталі 3сп $a=0,124$, $b=0,167$, $c=2,54$ [Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки. М.: Металлургия, 1986. - с.19];

$t_n^\circ = 936^\circ\text{C}$, $t_i^\circ = 932^\circ\text{C}$ - зміряні датчиком температури в перетині з номінальною товщиною 16мм і в перетині I;

Ступінь деформації $\varepsilon_n=3/19=0,15789$;

Ступінь деформації $\varepsilon_1=(3+0,05)/19=0,1601$;

Довжина осередку деформації $L_n=\sqrt{400 \cdot 3}=34,64102\text{мм}$;

Довжина осередку деформації $L_1=\sqrt{400 \cdot (3+0,05)}=34,9285\text{мм}$;

Коефіцієнти напруженого стану по М.Бровману [Рокотян Е.С., Рокотян СЕ.Энергосиловые параметры обжимных и листовых станов. - М.: „Металлургия“, 1968. - с.11]:

$$n_{\text{он}} = 0,5 \left(\frac{L_n}{h_{\text{cp}}} + \frac{h_{\text{cp}}}{L_n} \right) = 0,5 \left(\frac{34,64102}{17,5} + \frac{17,5}{34,64102} \right) = 1,24233,$$

де $h_{\text{cp}}=h+0,5 \Delta h$ - середня товщина осередку деформації в перетині з номінальною товщиною, мм;

$$n_{\sigma 1} = 0,5 \left(\frac{L_1}{h_{\text{cp}1}} + \frac{h_{\text{cp}1}}{L_1} \right) = 0,5 \left(\frac{34,9285}{17,525} + \frac{17,525}{34,9285} \right) = 1,2474,$$

де $h_{\text{cp}1}=h+0,5(\Delta h + \delta h_L)$ - середня товщина осередку деформації в перетині I, мм.

Перевірка правильності визначення швидкості робиться таким чином. Номінальна сила плющення, при якому товщина розкату має номінальне значення 16мм, знаходиться розрахунком по залежності (2):

$$P_n = 1,15 \cdot 1,24233 \cdot 161,22148 \cdot 34,64102 \cdot 1833 = 14,62619\text{ МН},$$

де $\beta = 1,15$ для плоскої деформації;

$\sigma_{\text{ин}}$ - істинний опір деформації сталі 3сп в перетині з номінальною температурою по (4):

$$\sigma_{\text{ин}} = 87,072 \cdot 20,05533^{0,124} \cdot 1,5789^{0,167} \cdot 0,936^{2,54} = 161,22148\text{ МПа},$$

де швидкість деформації:

$$u_n = \frac{\omega_n \varepsilon_n R}{I_n} = \frac{11 \cdot 0,15789 \cdot 400}{34,64102} = 20,05533\text{с}^{-1},$$

$b_{\text{cp}}=1700+133=1833\text{мм}$ - ширина розкату з урахуванням припуску на бічну обріз.

Сила плющення в перетині I при звичайному плющенні:

$$P_1 = 1,15 \cdot 1,2474 \cdot 163,48494 \cdot 34,9285 \cdot 1833 = 15,01498\text{ МН},$$

де $\sigma_{\text{и}1}$ - істинний опір деформації сталі 3сп в перетині I по (4):

$$\sigma_{\text{и}1} = 87,072 \cdot 20,16869^{0,124} \cdot 1,601^{0,167} \cdot 0,932^{2,54} = 163,48494\text{ МПа},$$

де швидкість деформації в перетині I:

$$u_1 = \frac{\omega_1 \varepsilon_1 R}{I_1} = \frac{11 \cdot 0,1601 \cdot 400}{34,9285} = 20,16869\text{с}^{-1},$$

Величина різновтовщинності в цьому перетині:

$$\delta h = \frac{P_1 - P_n}{M_{\text{кл}}} = \frac{15,01498 - 14,62619}{3,136} = 0,12398\text{мм}.$$

При зменшенні кутової швидкості до $8,90242\text{с}^{-1}$:

$$u'_1 = \frac{\omega_1 \varepsilon_1 R}{I_n} = \frac{8,90242 \cdot 0,1601 \cdot 400}{34,9285} = 16,32273\text{с}^{-1}$$

$$\sigma_{\text{и}1}' = 87,072 \cdot 16,32273^{0,124} \cdot 1,601^{0,167} \cdot 0,932^{2,54} = 159,25168\text{ МПа},$$

$$P'_1 = 1,15 \cdot 1,2474 \cdot 159,251683 \cdot 34,9285 \cdot 1833 = 14,62195\text{ МН},$$

$$\delta h' = \frac{P'_1 - P_n}{M_{\text{кл}}} = \frac{14,6219 - 14,6219}{3,136} = 0\text{мм}.$$

Таким чином різнотовщинність теоретично усувається повністю. Практична точність залежатиме від точності датчиків і системи управління головними двигунами прокатної кліти.

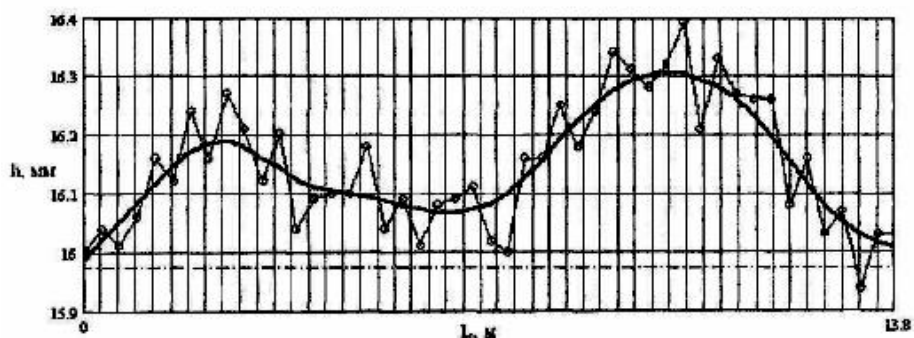
Аналогічним чином розраховуються параметри плющення в інших критичних перетинах розкату при звичному плющенні і за новим способом. Результати зведені до таблиці 1.

Таблиця 1

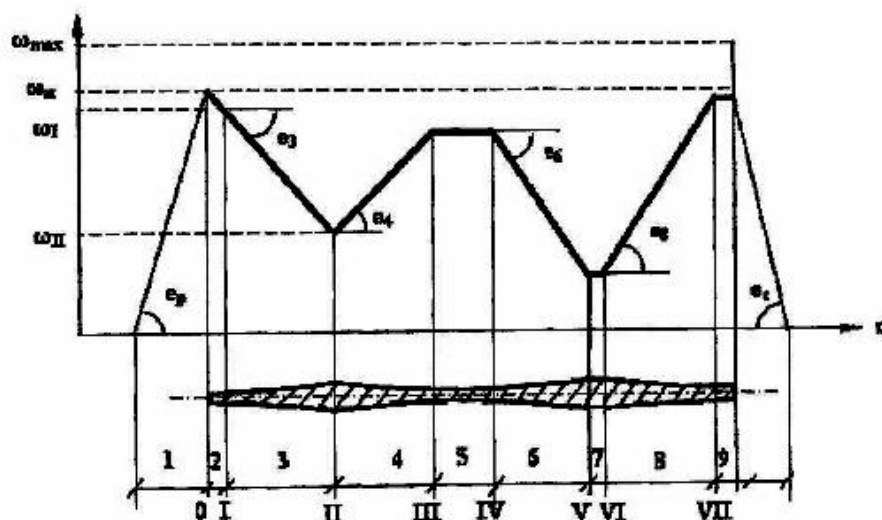
Параметри плющення в останньому проході стали Зсп з усуненням різнотовщинності за новим способом

№ сеч.	L_i , мм	h_i , мм	Δh_i , мм	t , °C	ω_i , с ⁻¹	P_i , МН	P_i' , МН	$\delta h'$, мм
0	0	15,99	-0,01	937	11,000	14,541	14,541	-0,027
I	600	16,05	0,05	932	8,902	15,015	14,626	0,000
II	2400	16,18	0,18	921	5,105	16,087	14,626	0,000
III	5700	16,07	0,07	930	8,112	15,189	14,626	0,000
IV	6600	16,07	0,07	930	8,112	15,189	14,626	0,000
V	9900	16,31	0,31	911	3,022	17,167	14,626	0,000
VI	10200	16,31	0,31	911	3,022	17,167	14,626	0,000
VII	13200	16,03	0,03	933	9,560	14,882	14,626	0,000

По таблиці видно, що у всіх випадках, окрім перетину №0, де усунення різнотовщинності не проводиться через видалення кінців в обріз, даний дефект усувається повністю. Отже, запропонований спосіб дійсно здатний повністю усувати різнотовщинність і забезпечувати отримання листів з необхідною номінальною товщиною.



Фиг. 1



Фиг. 2