



УКРАЇНА

(19) UA (11) 90753 (13) C2

(51) МПК (2009)

B21B 1/22

B21B 37/16

B21B 37/46

B21B 37/58

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ПРОКАТКИ ЛИСТІВ АБО ШТАБ

1

2

(21) а200804774

(22) 14.04.2008

(24) 25.05.2010

(46) 25.05.2010, Бюл.№ 10, 2010 р.

(72) САТОНІН ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ,
ДАНЬКО АНДРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ(73) САТОНІН ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ,
ДАНЬКО АНДРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

(56) Литовченко Н. В. Станы и технология прокатки листовой стали. – М.: Металлургия, 1979. – С. 225

SU 1061861 A; 23.12.1983

SU 1726078 A1; 15.04.1992

RU 2005103071 A; 20.07.2006

RU 2207205 C2; 27.06.2003

UA 48357 C2; 15.08.2002

JP 2003290807 A; 14.10.2003

Коновалов Ю. В., Будакова А. А., Гончаров В. Е., Завражный А. Н. Регулирование разнотолщинности листов на толстолистовых станах управлением скоростным режимом прокатки // Металлургическая и горнорудная промышленность. - М.: Металлургия, 1987. - С. 25-26

(57) 1. Спосіб прокатки листів або штаб, що включає прокатку у валках з випуклим робочим профілюванням листів або штаб максимальної ширини при номінальному зусиллі прокатки P_n , який **відрізняється** тим, що при прокатці листів або штаб меншої ширини зусилля прокатки зменшуютьшляхом розузгодження швидкостей робочих валків до величини P_i , яку визначають по залежності:

$$P_i = M_{np} \epsilon_i \left[\Delta S_{max} - \Delta S_i + \frac{P_n}{M_{np} \epsilon_{max}} \right],$$

де $M_{np} \epsilon_i, M_{np} \epsilon_{max}$ - модулі поперечної жорсткості валкової системи при довільній ширині листа або штаби b_i та при їх максимальній ширині b_{max} , МН/мм; $\Delta S_{max}, \Delta S_i$ - різниці в зазорах між робочими валками по центру та біля крайок листа або штаби при їх максимальній та довільній ширині.2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при нескінченній прокатці надтонких штаб у міру розігрівання робочих валків зусилля прокатки підвищують шляхом зменшення розузгодження їх швидкостей до величини P_i , яку визначають по залежності:

$$P_i = M_i \epsilon_i \left(\Delta S_n^t - \Delta S_i^t + \frac{P_n}{M_n \epsilon_i} \right),$$

де $\Delta S_n^t, \Delta S_i^t$ - різниці в зазорах між робочими валками по центру бочки та по краях штаби на початку прокатки та в її довільний момент, мм; $M_n \epsilon_i, M_i \epsilon_i$ - модулі поперечної жорсткості валкової системи на початку прокатки штаби шириною b_i та в довільний момент часу, МН/мм.

Винахід відноситься до прокатного виробництва, а саме - до виробництва листів і штаб на прокатних станах.

Відомий спосіб так званого асиметричної прокатки листів, коли асиметрія процесу створюється шляхом розузгодження швидкостей нижнього і верхнього робочих валків [Коновалов Ю.В., Будакова А.А., Гончаров В.Е., Завражный А.Н. Регулирование разнотолщинности листов на толстолистовых станах управлением скоростным режимом

прокатки. // Металл. и горнорудн. промышленность, 1987, №1. - с.25].

Недоліком цього способу є недостатня ефективність, оскільки поперечна різнотовщинність зменшується в середньому тільки на 0,03мм.

Відомий і широко застосовується спосіб зменшення поперечної різнотовщинності шляхом прокатки у валках з випуклою робочою профілюванням. Під робочою профілюванням мається форма бочки валків безпосередньо у кліті під час пауз

(13) C2

(11) 90753

(19) UA

поміж проходами, з урахуванням теплової випуклості [Литовченко Н.В. Станы и технология прокатки листовой стали. М.: Металлургия, 1979. - с.225].

Недоліками існуючого способу є неможливість повного усунення поперечної різнотовщинності, оскільки профіліровка розраховується на середню ширину листів, тоді як під час прокатки цей параметр змінюється. Окрім того, через зношення валків профіліровка з часом зникає і перестає позитивно впливати на точність прокатки. Нарешті при змінненні темпу прокатки через нагрівання або відносно охолодження бочок валків профіліровка змінюється неконтрольованим чином, що також негативно впливає на поперечний профіль листів.

В основу винаходу поставлено завдання створення такого способу прокатки листів і штаб, в якому завдяки корегуванню сили прокатки в залежності від ширини листів розузгодженням швидкостей робочих валків або за рахунок зменшення обтиску у проході, досягається зменшення поперечної різнотовщинності, що веде до підвищення якості прокату та зменшення розходу металу при його виготовленні.

Поставлене завдання досягається тим, що в способі прокатки у валках з випуклою робочою профіліровкою листів і штаб максимальної ширини при номінальній силі прокатки P_n , згідно винаходу, при зменшенні ширини сила прокатки зменшується до величини P_i розузгодженням швидкостей робочих валків по залежності:

$$P_i = M_{пр} \left[\Delta S_{max} - \Delta S_i + \frac{P_n}{M_{пр} \epsilon_{max}} \right], \quad (1)$$

де $M_{пр} \epsilon_i, M_{пр} \epsilon_{max}$ - модулі поперечної жорсткості валкової системи при довільній ширині листа b_i та при його максимальній ширині b_{max} , МН/мм;

$\Delta S_{max}, \Delta S_i$ - різниця в початкових зазорах між валками по центру та біля країв штаби при максимальній та довільній ширині листів, мм.

До того ж що сили прокатки при зменшенні ширини листів може знижуватися до величини P_i по залежності (1) зменшенням обтиску у проході.

Окрім того, при "нескінченній" прокатці надтонких штаб по мірі розігрівання робочих валків сили прокатки P_n підвищується зменшенням розузгодження їх швидкостей по залежності:

$$P_i = M_i \left(\Delta S_n^t - \Delta S_i^t + \frac{P_n}{M_n \epsilon_i} \right), \quad (2)$$

де $\Delta S_n^t, \Delta S_i^t$ - різниця в зазорах між робочими валками по центру бочки та по краях штаби на початку прокатки "нескінченної" штаби та в його довільний момент, мм;

$M_n \epsilon_i, M_i \epsilon_i$ - модулі поперечної жорсткості на початку прокатки штаби шириною b_i та в довільний момент часу, МН/мм.

Зменшення сили прокатки в залежності від модуля поперечної жорсткості кліти при довільній ширині листа дозволить весь час підтримувати

паралельність активних створюючих робочих валків, що попередить виникнення поперечної різнотовщинності і, як наслідок, підвищить якість прокату і зменшить металоємність процесу його виготовлення.

Необхідність у двох способах зменшення сили прокатки - розузгодженням швидкостей робочих валків та змінням обтиску обумовлена тим, що робочі кліти листових станів мають як індивідуальний, так і груповий привід. При груповому приводі розузгодження швидкостей валків неможливе, тому потрібен інший спосіб, яким є зміння обтисків. Окрім того, для здійснення першого способу потрібно спеціальне переобладнання системи керування електроприводом робочих клітей, тоді як для зміння обтисків достатньо існуючого обладнання.

Вибір співвідношення між номінальною P_n і поточною P_i силою прокатки обумовлений необхідністю зменшення до мінімуму різниці в товщині по ширині листів або штаб.

Відомо, що товщина розкату h залежить від сили прокатки P таким чином [див. Меерович И.М., Герцев А.И., Горелик В.С., Классен Э.Я. Повышение точности листового проката. М.: Металлургия, 1969. - с.22]:

$$h = S + \frac{P}{M_{кл}},$$

де S - початковий зазор між робочими валками, тобто перед прокатком;

$M_{кл}$ - модуль жорсткості робочої кліти.

Модуль жорсткості залежить від того, в якому перетині по довжині бочки він вимірюється. Тому:

$$h^c = S^c + \frac{P}{M_{кл}^c},$$

$$h^k = S^k + \frac{P}{M_{кл}^k},$$

де: h^c, h^k - товщина розкату в середині та по його краям;

S^c, S^k - початковий зазор між робочими валками посередині і біля країв розкату;

$M_{кл}^c, M_{кл}^k$ - модуль жорсткості кліти посередині і біля країв розкату.

Поперечна різнотовщинність буде дорівнювати:

$$\delta h_b = h^c - h^k = S^c - S^k + \frac{P}{M_{кл}^c} - \frac{P}{M_{кл}^k} = \Delta S + P \left(\frac{1}{M_{кл}^c} - \frac{1}{M_{кл}^k} \right) \quad (3)$$

Модуль поперечної жорсткості валкової системи $M_{пр}$:

$$\frac{1}{M_{пр}} = \frac{1}{M_{кл}^c} - \frac{1}{M_{кл}^k}.$$

Із (3) маємо:

$$\delta h_b = \Delta S + \frac{P}{M_{пр}}. \quad (4)$$

Якщо профіліровка забезпечує $\delta h_b \approx 0$ при нулі прокатки P_n і максимальній ширині розкату

b_{\max} при різниці у початковому зазорі по довжині бочки ΔS_{\max} , то тоді для отримання такої ж δh_b при меншій ширині b_i :

$$\Delta S_{\max} + \frac{P}{M_{\max}} = \Delta S_i + \frac{P_i}{M_i}$$

звідкіля виходить (1).

На початку "нескінченної" прокатки штаби:

$$\delta h_b = \Delta S_n^t + \frac{P_n}{M_n} \approx 0.$$

Надалі, внаслідок розігрівання валків:

$$\delta h_b' = \Delta S_i^t + \frac{P_i}{M_i} < 0.$$

Для того, щоб різнотовщинність не зростала, потрібно зменшувати силу прокатки до величини P_i із співвідношення:

$$\Delta S_n^t + \frac{P_n}{M_n} = \Delta S_i^t + \frac{P_i}{M_i},$$

з якого і виходить (2).

На Фіг.1 показано профіль зазору між валками при прокатці листів або штаб максимальної ширини при номінальному зусиллі прокатки; на Фіг.2 - те ж при зменшенні ширини листів або штаб; на Фіг.3 - приклад залежності поперечної різнотовщинності $M_{\text{пр}}$ чистової кліті товстолистового стану від ширини штаби при випуклій профіліровці валків; на Фіг.4 - приклад випуклої профіліровки валків для прокатки по новому способу.

Спосіб здійснюється таким чином.

На робочих і опорних валках створюється така верстатна профіліровка, яка при прокатці штаб максимальної ширини в номінальних умовах забезпечує мінімальну, в ідеалі нульову, величину поперечної різнотовщинності. Це завжди можна зробити відомими способами. При прокатці під дією номінальної сили прокатки P_n валкова система пружно деформується і активні створюючі робочих валків стають паралельними, що приводить до неприпущення виникнення δh_b (Фіг.1). При переході на прокатку штаби меншої ширини, при силі P_n з'явиться поперечна різнотовщинність (Фіг.2). Це виходить із залежності поперечної різнотовщинності від ширини штаби при випуклій профіліровці валків (Фіг.3). Для попередження цього сили прокатки P_n потрібно зменшити розузгодженням швидкостей валків до величини P_i , яка розраховується по (1). Залежність модуля поперечної різнотовщинності $M_{\text{пр}}$ від ширини штаби потрібно знаходити експериментально або розраховувати відомими способами для кожної робочої кліті окремо.

По мірі зносу валків величина різниці в зазорі по довжині бочки валків ΔS збільшується. Це веде до появи δh_b , не пов'язаної із зміненням сили прокатки або ширини штаби. Для компенсації цього явища також потрібно робити розузгодження швидкостей валків, завдяки якому сила прокатки

зменшиться, отже по (4) буде усуватися і ця складова δh_b .

При нагріванні бочок валків внаслідок збільшення темпу прокатки виникненню негативної різнотовщинності, коли товщина штаби у центрі менша, ніж по її краям, можна запобігти зменшенням розузгодження швидкостей валків, отже збільшенням сили прокатки; при їх охолодженні внаслідок зменшення темпу прокатки - навпаки, збільшенням розузгодження.

В робочих клітях з груповим приводом прокатка також робиться по п. 1 формули, але при переході на меншу ширину листа сили прокатки P_i зменшується до P_n по (1) за рахунок зменшення обтиску у проході. У цьому варіанті компенсація зносу та теплового змінення профіліровки неможливі.

При веденні "нескінченної" прокатки надтонких штаб товщиною $0,8 \div 1,0$ мм на безперервних станах проблемою є компенсація великої теплової випуклості внаслідок розігрівання валків. Для її неприпущення початкову випуклість профіліровки валків ΔS потрібно зменшити настільки, щоб компенсувалась найбільша випуклість при закінченні прокатки "нескінченної" штаби. Виникненню через це на початку прокатки різнотовщинності, коли бочки валків ще не розігрілись і мають малу теплову випуклість, можна запобігти розузгодженням швидкостей валків.

Приклади здійснення способу.

1. На ТЛС 3000 здійснюється прокатка розкатів із сталі 3сп розмірами $8 \times 2700 \times 20000$ та $8 \times 1500 \times 20000$ мм. Поперечна різнотовщинність усувається в останньому проході, де обтиск Δh дорівнює 3 мм для першого розкату і 6,32 мм для другого. Діаметр робочих валків 900 мм, максимальна кутова швидкість $\omega_{\max} = 125 \text{ c}^{-1}$, номінальна $\omega_n = 11,25 \text{ c}^{-1}$. Середньомасова температура металу - 840°C . Номінальна сила прокатки $P_n = 44,15 \text{ МН}$. Робоча профіліровка нових, не зношених валків показана на Фіг.4. Її параметри - різниця діаметрів в центрі і по краях бочок робочих і опорних валків відповідно дорівнюють: $D_p^u - D_p^k = 0,28 \text{ мм}$, $D_{\text{оп}}^u - D_{\text{оп}}^k = 1,4 \text{ мм}$. Залежність модуля поперечної різнотовщинності кліті від ширини штаби апроксимована поліномом третього ступеня:

$$M_{\text{пр}} = 223028 - 163671 \cdot B + 66526 \cdot B^2 - 7762 \cdot B^3, (5)$$

Робоча профіліровка та залежність модуля поперечної різнотовщинності кліті від ширини штаби отримані в результаті розрахунку пружної деформації валкового комплексу чистової кліті стану 3000 по методиці, що викладена в роботі: Тягунов В.А., Малых Е.Т., Денисов Ю.В. Определение поперечной разнотолщинности листов при прокатке на станах кварто // Изв. вузов: Черная металлургия - 1967, №8. - с.77-81.

Величина поперечної різнотовщинності при прокатці розкату шириною 2700 мм в номінальних умовах по (4):

$$\delta h_b = -1,3608 + \frac{44,15}{32,311} = 0,006 \text{ мм},$$

де різниця в зазорі валків на ширині розкату згідно вищезгаданої методики та профілювання по Фіг.4:

$$\Delta S = \left(\left(\frac{b}{L} \right)^2 \left(D_p^k - D_p^u \right) + \left(\frac{b}{L} \right)^2 \left(D_{оп}^k - D_{оп}^u \right) \right) = 0,28 + 1,4 \left(\frac{2700}{3000} \right)^2 = -1,3608 \text{ мм}$$

де b, L - ширина штаби та довжина бочки валків, мм.

Початковий зазор має негативну величину через випуклість профілювання. Модуль поперечної

жорсткості валкової системи даної кліти при ширині штаби 2,7м:

$$M_{np} = 223028 - 193671 \cdot 2,7 + 66,526 \cdot 2,7^2 - 7,762 \cdot 2,7^3 = 32,311 \text{ МН/мм}$$

Отже при прокатці найширшого розкату, коли сила прокатки дорівнює номінальному, профілювання забезпечує практично повне усунення різновшчинності.

При переході на прокатку найвужчого розкату шириною 1,5м поперечна різновшчинність буде:

$$\delta h_b = -0,42 + \frac{44,15}{56,008} = 0,368 \text{ мм}$$

де в цьому разі:

$$\Delta S = 0,28 + 1,4 \left(\frac{1500}{3000} \right)^2 = -0,42 \text{ мм}.$$

$$M_{np} = 223028 - 193671 \cdot 1,5 + 66,526 \cdot 1,5^2 - 7,762 \cdot 1,5^3 = 56,008 \text{ МН/мм}.$$

Для зменшення різновшчинності до мінімального рівня потрібно зменшити силу прокатки по (1) до величини:

$$P_i = 56,008 \left(-1,3608 + 0,42 + \frac{44,15}{32,311} \right) = 23,837 \text{ мм}$$

Величина поперечної різновшчинності тоді буде:

$$\delta h_b = -0,42 + \frac{23,837}{56,008} = 0,005 \text{ мм}.$$

Для зменшення сили прокатки до цього рівня швидкості робочих валків потрібно розузгодити на величину, яку можна знайти по будь якій відомій залежності. Наприклад, [Мит'єв А.П., Орнатский Э.А., Гринчук П.С., Гунько Б.А. Силовые параметры асимметричной прокатки толстых листов. //

Прокатка и термообработка толстого листа: Темат. отр. сб. - М.: Металлургия, 1986. - с.29]:

$$\frac{\delta P}{P_H} = -1,4 |K| \beta^2 \frac{R}{H_0},$$

де $\delta P = P_i - P_H$ - різниця сили прокатки;

$K = \left(\omega_2 - \omega_1 \right) \omega_2$ - ступінь розузгодження кутових швидкостей робочих валків;

R - радіус робочих валків, мм;

H_0 - товщина штаби до прокатки, мм;

$$\beta = \frac{\sqrt{\varepsilon - 1}}{2 - \varepsilon},$$

де ε - ступінь деформації; $\varepsilon = \Delta h / H_0$..

В даному випадку:

$$\Delta P = 23,837 - 20,313; \varepsilon = 6,32 / 14,32 = 0,44;$$

$$\beta = \frac{\sqrt{0,44 - 1}}{2 - 0,44} = 0,318; K = - \frac{20,313 \cdot 14,32}{1,4 \cdot 44,15 \cdot 0,318^2 \cdot 450} = 0,103$$

$$\omega_1 = \omega_2 (K - 1) = 11,25 (0,103 - 1) = 10,09 \text{ с}^{-1}.$$

Отже при зменшенні швидкості одного з робочих валків на 10,3% різновшчинність зменшується до прийняттого рівня, тому що по існуючим нормам δh_b не повинна перевищувати $0,1 \div 0,15 \text{ мм}$.

2. Аналогічно може усуватись різновшчинність внаслідок зносу валків. Наприклад, через

знос робочих валків їх випуклість по радіусу зменшилась на $\delta = 0,1 \text{ мм}$. Через це різниця в зазорі на ширині розкату 2700мм зміниться так:

$$\Delta S' = \left(\frac{b}{L} \right)^2 \left(D_p - 2\delta + 2h_{оп} \right) = 0,28 - 0,2 + 1,4 \left(\frac{2700}{3000} \right)^2 = -1,199 \text{ мм}.$$

Дещо зміниться і модуль поперечної жорсткості:

$$M_{np} = 218,329 - 190,841 \cdot 2,7 + 65,897 \cdot 2,7^2 - 7,77 \cdot 2,7^3 = 30,511 \text{ МН/мм}$$

Внаслідок цього з'явиться різновшчинність:

$$\delta h_b = -1,199 + \frac{44,15}{30,511} = 0,248 \text{ мм}.$$

Для її усунення сили прокатки по (2) потрібно зменшити до величини.

$$P_i = M'_{np} \left(\Delta S - \Delta S' + \frac{P_H}{M_{np}} \right) = 30,511 \left(-1,3608 + 1,199 + \frac{44,15}{32,311} \right) = 36,754 \text{ МН}.$$

Таке зменшення сили буде при розузгодженні швидкості валків:

$$\Delta P = 365,754 - 44,15 = -7,396 \text{ МН}; \varepsilon = 3/11 = 0,273;$$

$$\beta = \frac{\sqrt{0,273 \cdot (-0,273)}}{2 - 0,273} = 0,339; K = -\frac{-7,396 \cdot 11}{1,4 \cdot 44,15 \cdot 0,339^2 \cdot 450} = 0,025$$

$$\omega_1 = 1125 \cdot (-0,025) = 10,969 \text{ с}^{-1}.$$

Цим же способом можна компенсувати зменшення теплової випуклості при зменшенні темпа прокатки, якщо робоча профіліровка розроблена для максимального темпу прокатки.

3. При "нескінченній" прокатці штаби їх 1800мм із сталі 3сп на безперервному широкоштабовому стані 2000 максимальна тепла випуклість робочих валків в кінці процесу складає на діаметр 0,8мм. При початковій робочій профіліровці з параметрами:

$D_p^u - D_p^k = 0,0 \text{ мм}$ $D_{оп}^u - D_{оп}^k = 0,5 \text{ мм}$, і при $P_H = 40 \text{ МН}$ різновтовщинність на початку прокатки "нескінченної" штаби буде максимальною:

$$\delta h_b = -0,405 + \frac{40,0}{68,632} = 0,178 \text{ мм},$$

де в цьому разі:

$$\Delta S_n^t = 0 + 0,5 \left(\frac{1800}{2000} \right)^2 = -0,405 \text{ мм}.$$

$$M_{np} = 249,009 - 347,719 \cdot 1,8 + 112,068 \cdot 1,8^2 - 21,362 \cdot 1,8^3 = 68,632 \text{ МН/мм}.$$

В кінці прокатки вона компенсується тепловою випуклістю (вважається, що змінюється тепловий профіль тільки робочих валків):

$$\delta h_b = -1,053 + \frac{40,0}{37,885} = 0,003 \text{ мм},$$

$$\text{де } \Delta S_i^t = 0,8 + 0,5 \left(\frac{1800}{2000} \right)^2 = -1,053 \text{ мм}.$$

$$M_{np} = 281,41 - 381,772 \cdot 1,8 + 206,581 \cdot 1,8^2 - 38,693 \cdot 1,8^3 = 37,885 \text{ МН/мм}$$

Для попередження виникнення на початку прокатки різновтовщинності сили прокатки по (2) потрібно зменшити до:

$$P_n = 68,632 \left(-1,053 + 0,405 + \frac{40,0}{37,885} \right) = 27,99 \text{ МН}$$

Таке зменшення сили буде при зменшенні швидкості одного з валків. $\Delta P = 27,99 - 40,0 = -20,19 \text{ МН}$; $\varepsilon = 0,2/1,2 = 0,167$, де 0,2мм - обтиск в останній кліті, 1,2мм - товщина штаби перед останнім проходом;

$$\beta = \frac{\sqrt{0,167 \cdot (-0,167)}}{2 - 0,137} = 0,529; K = -\frac{-12,01 \cdot 1,2}{1,4 \cdot 44,0 \cdot 0,529^2 \cdot 400} = 0,002$$

$$\omega_1 = 50,0 \cdot (-0,002) = 49,9 \text{ с}^{-1}$$

де $\omega_2 = 50 \text{ с}^{-1}$ - кутова швидкість в останній кліті стана 2000.

Надалі, по мірі розігрівання валків, сили прокатки потрібно підвищувати по (2), маючи залежність збільшення теплової випуклості від часу або довжини штаби, що прокатується.

4. Прокатка ведеться в кліті з груповим приводом. Умови прокатки по п. 1, але для зменшення сили прокатки P до величини 23,271МН обтиск Δh зменшується до 2,785мм. Сили прокатки:

$$P = 1,15 \cdot n_\sigma \cdot \sigma_{и} \cdot l_d \cdot b,$$

де n_σ - коефіцієнт напруженого стану;

$\sigma_{и}$ - дійсний опір деформації при даних температурі, ступеню і швидкості деформації;

l_d - довжина осередку деформації;

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h} = \sqrt{400 \cdot 2,785} = 33,377 \text{ мм};$$

b - ширина розкату.

Коефіцієнт n_σ по М. Бровману [Рокотян Е.С., Рокотян С.Е. Энергосиловые параметры обжимных и листовых станов. М.: Металлургия, 1968. - с.11]:

коли $m = L_d / h_{cp} \geq 2 n_\sigma = 0,75 + 0,25m$,

де h_{cp} - середня товщина розкату;

$$h_{cp} = \left(\frac{h}{2} + h \right) / 2 = (785 / 2 + 8) / 2 = 9,393 \text{ мм}.$$

$$m = 33,377 / 9,393 = 3,553 \quad n_\sigma = 0,75 + 0,25 \cdot 3,553 = 1,638$$

Дійсний опір деформації з достатньою для практики точністю визначається по емпіричній формулі Андріюка і Тюленева [Василев Я.Д., Сафьян М.М. Производство полосовой и листовой стали. - Київ: Вища школа, 1976. - с.26]:

$$\sigma_{\text{и}} = s \cdot \sigma_{T,0} \cdot u^a \cdot \left(\frac{t}{1000} \right)^{-c},$$

де швидкість деформації:

$$u_H = \frac{\omega_H \varepsilon_H R}{l_H} = \frac{11,25 \cdot 0,258 \cdot 400}{33,377} = 34,817 \text{ с}^{-1}$$

$$\varepsilon = 2,785 / 10,785 = 0,258 - \text{ступінь деформації.}$$

Сили прокатки при зменшенні обтиску:

$$P_1 = 1,15 \cdot 1,638 \cdot 246,714 \cdot 33,377 \cdot 1500 = 23,271 \text{ МН}.$$

де $s, \sigma_{T,0}$ - константи даної марки сталі; для

$$3\text{сп } s = 0,96, \sigma_{T,0} = 90,7 \text{ МПа};$$

u - швидкість деформації, 1/с;

a, b, c - показники ступеню швидкісного та деформаційного зміцнення та температурного розміцнення даної марки сталі відповідно. Беруться з довідників по пластометричним даним для металів [див. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки. М.: Металлургия, 1986. - 429с]. Для сталі 3сп $a=0,122$; $b=0,167$; $c=2,54$.

$$\sigma_{\text{и}} = 87,072 \cdot 34,817^{0,124} \cdot 2,58^{0,167} \cdot \left(\frac{840}{1000} \right)^{-2,54} = 246,714 \text{ МПа},$$

Отже при зменшенні обтиску до 2,785мм сили прокатки зменшується до потрібної величини і різновтовщинність усувається.

Таким чином запропонований спосіб дійсно здатний усувати поперечну різновтовщинність при прокатці в клітях з індивідуальним та груповим приводом і тим самим підвищувати якість листів і штаб.

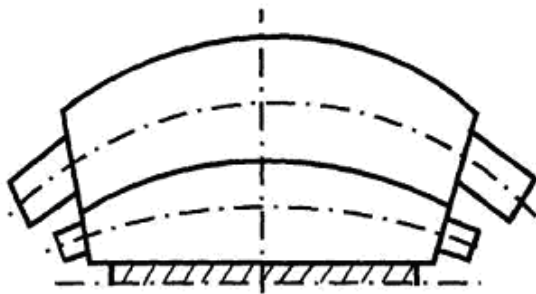


Fig. 1

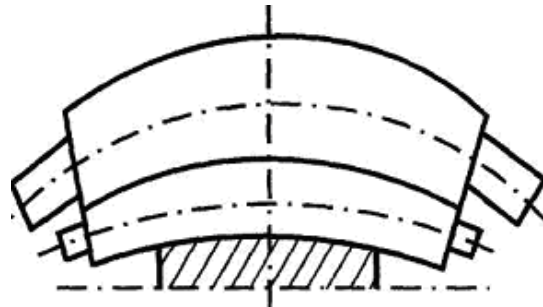


Fig. 2

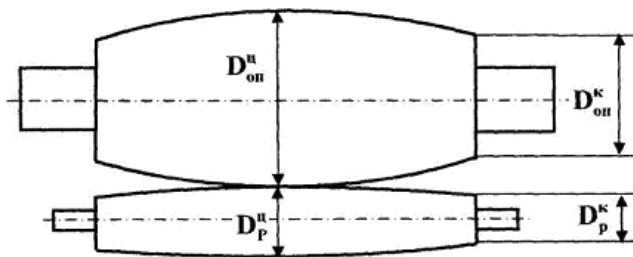


Fig. 3

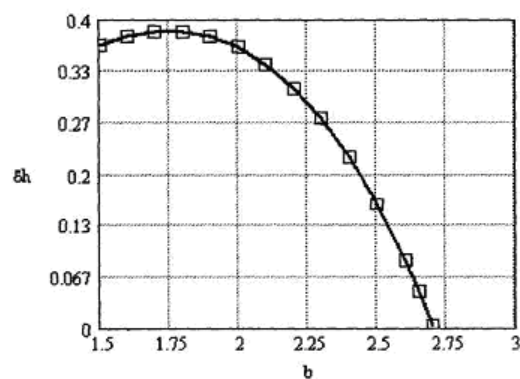


Fig. 4