

УДК 621.771.(0.75.8)

В.А. Николаев, профессор, д.т.н.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ ПОЛОС НА ШСГП

Запорожская государственная инженерная академия

Використання проміжного перемотувального устрою «Coilbox» не дозволяє на всіх штабових станах гарячої прокатки одержувати штаби з мінімальною подовжньою різною товщиною. Проведено аналіз умов роботи «Coilbox» на широкоштабовому стані 1680 та розглянуто пропозиції, які можуть поліпшити подовжній профіль штаб.

Ключові слова: штаба, стан, товщина, прокатка, температура, перемотування

Применение промежуточного перемоточного устройства «Coilbox» не позволяет на всех полосовых станах горячей прокатки получать полосы с минимальной продольной разнотолщинностью. Проведен анализ условий работы «Coilbox» на широкополосном стане 1680 и рассмотрены предложения, которые могут улучшить продольный профиль полос.

Ключевые слова: полоса, стан, толщина, прокатка, температура, перемотка

Application of «Coilbox» not to get on all stripe figures of the hot rolling to allow stripes with minimum longitudinal polythickness. The analysis of conditions of work for «Coilbox» on a broadband figure 1680 is presented and suggestions which can improve the longitudinal shape of stripes are considered.

Keywords: stripe, figure, thickness, rolling, temperature, back-winding

Введение. Существующие ШСГП (широкополосные станы горячей прокатки полос) с традиционной технологией имеют ряд недостатков, вызывающих появление продольной разнотолщинности и неравномерности механических свойств полос. К недостаткам этой технологии следует отнести:

- большие потери теплоты на промежуточном рольганге: 50...100 °С при отсутствии промежуточного перемоточного устройства (ППУ) «Coilbox», особенно на длинных раскатах;
- неравномерное охлаждение промежуточного раската на ППУ: внутренние витки охлаждаются в два раза дольше (при смотке и размотке) по сравнению с наружными;
- отсутствие натяжения заднего конца прокатываемой полосы и, как правило, меньшая температура, вызывают его утолщение в пределах 0,08...0,20 мм по сравнению с толщиной переднего конца [1-4].

Постановка задачи. В соответствии с теоретическими исследованиями [1,2] установлено, что градиент температур Δt_i по длине промежуточного раската оказывает существенное влияние на приращение толщины полосы. При этом, чем больше величина градиента, то есть чем меньше температура заднего конца полосы по сравнению с температурой ее переднего конца, тем больше приращение толщины δh_n на заднем конце полосы $\Delta t = t_n - t_e$, где t_n , t_e – температура соответственно переднего и заднего концов полосы).

Величину продольной разнотолщинности полос при горячей или холодной прокатке позволяет рассчитать известное выражение [2,3]:

$$\delta h_{i,2} = \frac{P_i - P_2}{I_{\partial\partial} + \delta I_i}, \quad (1)$$

где P_i, P_2 – соответственно сила прокатки на i -ом участке и на участке 2 с минимальной толщиной по длине полосы; M_{ni}, M_{n2} – модули жесткости полосы на i -ом участке и на участке 2 соответственно; $\delta M_{\Pi} = M_{\Pi i} - M_{\Pi 2}$; $M_{\Pi i} = \varphi_i \cdot P_i / \Delta h_i$; Δh_i – абсолютное обжатие; φ_i – коэффициент нелинейности функции; $M_{кл}$ – модуль жесткости клетки.

Решая совместно выражение (1), а также формулы для определения δM_{Π} и $M_{\Pi i}$, после преобразований и некоторых допущений ($\varphi_i = \text{const}$ и $\Delta h_i = \text{const}$ по длине полосы) получают:

$$\delta h_i = \frac{1}{\frac{I_{\partial\partial}}{\delta P} + \frac{\varphi}{\Delta h}}, \quad (2)$$

где δP – приращение силы в точке i , $\delta P = P_i - P_2$.

Сущность выражения (2) представлена на рис. 1, из которого следует, что с увеличением параметра $M_{кл}/\delta P$ (увеличение модуля жесткости клетки или уменьшение разности сил прокатки по длине полосы) приращение толщины полосы δh_n снижается при любом значении параметра $\varphi/\Delta h$, характеризующего различие модулей жесткости полосы по ее длине. Однако основное влияние параметра $M_{кл}/\delta P$ наблюдается при значениях $M_{кл}/\delta P < 10$, когда приращение толщины полосы на участке $i = 0 \dots 10$ находится в пределах $\delta h_n \approx 0,04 \dots 0,46$ мм и при этом увеличение параметра $\varphi/\Delta h$ (например, путем уменьшения обжатия Δh при $\varphi = \text{const}$) способствует уменьшению приращения толщины полосы. Но жесткость полосы практически не оказывает никакого влияния при значениях $M_{кл}/\delta P > 20$.

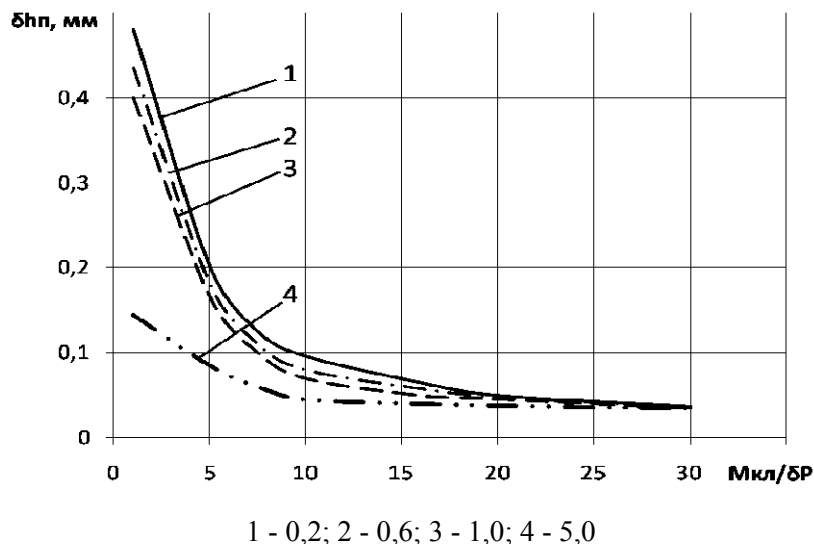


Рисунок 1 – Влияние относительной жесткости клетки кварто $M/\delta P$ на величину продольной разнотолщинности δh_n полос при отношении $\varphi/\Delta h$

Отсутствие приращения толщины полосы ($\delta h_{\Pi} = 0$) будет иметь место в случае когда $\delta P = 0$ и при постоянной жесткости по длине полосы. Возможно получение и

отрицательного значения δh_{II} , если $P_i < P_2$ и $M_{Pi} < M_{I2}$. Указанные условия должны соблюдаться в каждой клетке непрерывного полосового стана.

Расчеты для полосы $2,5 \times 1250$ мм (ШСГП 1700) показывают, что при градиенте температур $\Delta t_5 = 0$ промежуточного раската перед первой клетью чистовой группы (клеть № 5), приращение толщины на заднем конце полосы, вышедшей из клетки № 5, оказалось равным $\delta h_{II} = 0$ [2] (передний и задний концы прокатаны без натяжений). Однако, при этом, на готовой полосе после клетки № 10 приращение толщины на заднем ее конце составило $\delta h_{II} = 0,06$ мм в результате появления градиента температур по длине полосы и отсутствия заднего натяжения при прокатке. Представленные данные показывают, что для получения полосы, равнотолщинной по длине, условие $\Delta t_5 = 0$ промежуточного раската является недостаточным. Необходимо иметь отрицательный градиент температур по длине промежуточного раската ($\Delta t_5 < 0$), при наличии которого обеспечивается постоянство силы прокатки по длине полосы и происходит компенсация возрастающего градиента температур $\Delta t_i > 0$ по клетям стана и отсутствия натяжения заднего конца полосы.

Указанные выше технологические недостатки присутствуют, к сожалению, на ШСГП 1700 ОАО «Металлургический комбинат им. Ильича» и ШСГП 1680 ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь», хотя и на данных станах в последние годы выполнены усовершенствования технологического процесса и оборудования, обеспечивающие повышение экономических показателей, в том числе, и улучшение продольного профиля полос. Так, на ШСГП 1700 для 94 % общего количества прокатываемых полос толщиной 2...5 мм максимальное отклонение толщины не превышает +0,05 мм на 95...96 % длины основной части полосы (без концевых участков) [4].

Применение теплового экрана на промежуточном рольганге обеспечивает повышение температуры заднего конца раскатов на 10...15 °С и снижение утолщения этого участка готовой полосы на 0,03...0,05 мм. Реализация, варианта реконструкции ШСГП 1700 с установкой второго теплового устройства и ППУ в составе чистовой группы клетей, рекомендуемого в работе [4], может обеспечить существенное уменьшение отклонений толщины по длине полосы.

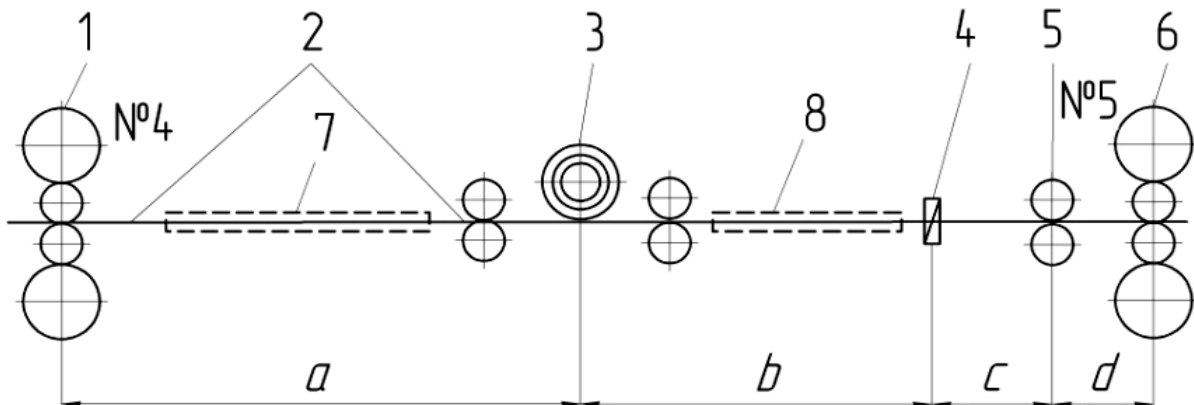
В условиях прокатки полос на ШСГП 1680 без «Coilbox» наблюдали однотипную продольную разнотолщинность прокатываемых полос [5]: увеличение толщины полосы на переднем ее участке вследствие прокатки без переднего натяжения, увеличение толщины полосы на основном участке вследствие уменьшения температуры металла (температурный клин) и увеличение толщины полосы на участке заднего конца полосы вследствие прокатки без заднего натяжения.

После установки ППУ в линии ШСГП 1680 ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» характер продольного профиля полос заметно изменился.

На ШСГП 1680 (рис. 2) установлены черновой двухвалковый окалиноломатель (ОК) с диаметром валков $D = 900$ мм и четыре черновые клетки кварто с диаметрами рабочих валков D , мм и мощностью N главных приводов, кВт: клеть № 1 – $D = 940$ ($N = 6000$), № 2 – 850 (4000), №№ 3,4 – 598 (4000). В чистовой группе шесть клетей кварто (№№ 5-10) с рабочими валками максимальным диаметром 620 мм ($N = 7000$ кВт в каждой) – чугунные валки с отбеленным слоем твердостью по Шору-HSD 63...72).

Прокатывают слябы в основном из углеродистой стали толщиной 150...168 мм, шириной ~ 1000...1500 мм и длиной 4,5...4,7 м (одинарные) и 9,0...9,4 м при использовании ППУ. Толщина промежуточного раската на стане после клетки № 4 составляет

$H_{ПР} = 20...28$ мм. ППУ установлено на промежуточном рольганге между клетью № 4 черновой группы и клетью № 5 чистовой группы (рис. 2) на расстоянии ~ 28 м от клетки № 5 [6].



1 - черновая клеть № 4; 2 - промежуточный рольганг ($a \approx 37$ м); 3 - ППУ; 4 - ножницы концевые ($b \approx 10$ м); 5 - чистовой двухвалковый окалиноломатель ($c \approx 12$ м); 6 - первая чистовая клеть № 5 ($d \approx 6$ м); 7,8 - теплосберегающее устройство (ТСУ) и индукционная подогревательная печь (проект) Все размеры даны для существующего расположения оборудования

Рисунок 2 – Участок промежуточного рольганга ШСГП 1680

В шести клетях чистовой группы прокатывают полосы толщиной $2,0...8,0$ мм с максимальной скоростью в клетях № 10 – $9,2$ м/с. Клетки №№ 8-10 оборудованы устройствами противоизгиба рабочих валков. В черновой группе в непрерывном режиме прокатки работают клетки №№ ОК-1, 2-3 и 3-4, то есть на участках, где длина раската больше расстояния между клетями.

Из рис. 2 следует, что на ШСГП 1680 в линии промежуточного рольганга отсутствуют какие-либо устройства (кроме ППУ без собственного экрана), которые обеспечивают некоторое сохранение теплосодержания промежуточного раската. Основные потери теплоты раскатом происходят до и после ППУ, а общее снижение температуры на переднем конце раската мало изменяется по сравнению с традиционной технологией.

Характерный вид продольного профиля полосы с размерами 2×1000 мм представлен на рис. 3, из которого видно, что профилограмма имеет пять участков: I – прокатка переднего конца (замеры 1-5); II – увеличение толщины полосы (5-18); III – относительно постоянная толщина полосы (18-38); IV - уменьшение толщины полосы (38-61); V – увеличение толщины на $\delta h_{II} = 0,15$ мм при прокатке заднего конца полосы без натяжения (61-65).

Приведенный вид профилограммы обусловлен особенностями использования ППУ, когда промежуточный раскат охлаждается длительное время: при смотке его в рулон и при размотке его для прокатки в чистовой группе ШСГП. Передний конец полосы прокатывается из заднего конца промежуточного раската, который сразу задают в клеть № 5 (первую клеть чистовой группы) при температуре $\approx 980...1000$ °С. Первая точка замера с толщиной $2,0$ мм на участке I соответствует прокатке «языка», ширина которого меньше ширины полосы. Во второй точке толщина переднего конца полосы увеличивается на $\sim 0,04$ мм из-за прокатки его без натяжения. Началу устано-

вившегося процесса соответствует точка 4, где толщина полосы равна $h = 2,0$ мм (расстояние между точками замеров 1-4 составляет ~ 31 м).



Рисунок 3 – Изменение толщины полосы 2×1000 мм из стали марки 1пс, прокатанной с использованием «Coilbox» (длина сляба $L = 9,3$ м)
(данные ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь»)

На участке II (скорость раската перед клетью № 5 $\sim 0,85$ м/с) происходит увеличение толщины полосы, которое возможно, при неизменности всех остальных параметрах, только вследствие уменьшения температуры промежуточного раската на участке «ППУ-клеть № 5». Кроме того уменьшение температуры наружных витков промежуточного раската происходит в процессе их намотки и размотки, то есть, чем раньше они попадают в моталку, тем больше их охлаждение.

На участке IV, который соответствует переднему концу промежуточного раската, имеет место противоположная картина. Точка замера 61 соответствует окончанию установившегося процесса и на промежуточном раскате расположена на расстоянии $\sim 3,0$ м от его торца. Увеличение толщины полосы к середине ее длины (в сторону уменьшения номера замера) логично, так как обусловлено уменьшением температуры промежуточного раската от переднего к заднему концу. На исходное температурное поле витков этого участка, очевидно, накладывается также уменьшение температуры при намотке-размотке рулона.

Витки среднего III-го участка рулона расположены между наружными и внутренними витками, что определяет сохранение теплоты, стабильность температуры и примерно одинаковую толщину полосы в точках замеров 18-38.

Участок V, начиная с клетки № 5 и в каждой последующей клетки, прокатывают без заднего натяжения, что вызывает увеличение среднего нормального контактного напряжения, силы прокатки, упругих деформаций клетки и, следовательно, толщины полосы (замеры 61-65). Приращение толщины полосы на участке V в различных условиях прокатки составляет $\delta h_{II} = 0,08 \dots 0,2$ мм.

При прокатке различных полос толщиной $h \approx 2,0$ мм характер изменения толщины по длине, в основном, остается таким же, но величина отклонений δh_{II} изменяется в пределах $0,03 \dots 0,08$ мм. При этом в условиях работы ШСП 1680 прокатывают полосы, продольный профиль которых имеет иной вид, чем следует из полученных профилограмм. Например, полосы с заметным (до $\sim 0,2$ мм) увеличением толщины в

направлении от переднего к заднему концу полосы; с примерно одинаковой толщиной полосы на участках II-IV; полосы с увеличенной длиной концевых участков до 40...50 м.

При прокатке без «Coilbox» передний конец промежуточного раската расстояние между клетями № 4 и № 5 проходит за ~26 с (ШСГП 1680, $L \approx 65$, скорость выхода раската из клетки № 4 и рольганга $V \approx 2,5$ м/с). При использовании Coilbox (ППУ) промежуточный раскат (передний конец), после выхода из клетки № 4, через 15 с поступает к ППУ, где осуществляется смотка в рулон до выхода заднего конца из клетки № 4 в течение 11 с, смотка с ускорением – 8 с, передача рулона на разматывание – 5 с, подача переднего конца (верхнего витка) рулона к клетям № 5 – 14 с. Общее время после выхода переднего конца раската из клетки № 4 до поступления его к валкам клетки № 5 составляет – 53 с, что почти в два раза больше, чем без ППУ и это приводит к дополнительным потерям теплосодержания промежуточного раската. Небольшая масса рулона на ППУ (до ~13 т) способствует неравномерному распределению температуры по его сечению, что обусловлено уменьшением температуры по длине исходного промежуточного раската, продолжительным охлаждением внутренних витков рулона при его смотке и разматке, возможными задержками рулона перед разматкой, отсутствием экранирования ППУ.

Вследствие совместного влияния указанных факторов продольные профили полос при прокатке с применением «Coilbox» имеют разнообразный вид, и в условиях ШСГП 1680 при небольшой массе рулонов это устройство не всегда выполняет основную свою функцию – получение равнотолщинной по длине полосы и уменьшение толщины концевых участков. Тем не менее, установка «Coilbox» в линии ШСГП 1680 сыграла свою положительную роль, обеспечивая прокатку длинномерных слябов (длиной 9,0...9,4 м и массой 11...13 т) и повышая, тем самым, технико-экономические показатели работы стана. Однако проблема повышения качества продольного профиля полос при этом не решена. Для решения этих задач необходимо применение на стане дополнительных технических мероприятий.

Повышение точности продольного профиля полосы и обеспечение прокатки полос толщиной $h \approx 2,0...3,0$ мм на ШСГП 1680 ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» (без коренной реконструкции оборудования самого стана), может быть достигнуто, на наш взгляд, путем осуществления технических мероприятий по стабилизации теплового состояния полосы и повышения температуры промежуточного раската. Это может быть достигнуто путем применения теплосберегающего устройства (ТСУ) длиной ~34 м перед ППУ и индукционной подогревательной печи (ИПП) длиной ~10 м (рис. 2) перед чистовой группой после переноса ножниц ближе к окалиноломателю ($c \approx 6$ м). ТСУ сохраняет и выравнивает температуру по длине раската, а ИПП позволяет в процессе прокатки от переднего конца к заднему изменять температуру на 30...50 °С. Само же устройство смотки – разматки (ППУ) необходимо экранировать собственным ТСУ. Такие технические мероприятия, как показывает производственный опыт [4] обеспечивают снижение (устранение) низкочастотной разнотолщинности при прокатке, как без ускорения, так и с ускорением полос.

Однако проблема устранения наиболее существенного утолщения на локальном участке заднего конца раската (полосы) при этом не решается. Дополнительное обжатие этого участка [1] может быть эффективным при наличии быстродействующих гидравлических нажимных устройств, которые на ряде ШСГП отсутствуют. Принимая во внимание необходимость сокращения расхода металла при горячей прокатке, решение этой проблемы может быть выполнено применением каких-либо нетрадиционных методов воздействия на локальный участок полосы.

Выводы. Продольный профиль (разнотолщинность) тонких полос, прокатанных на ШСГП с применением «Coilbox», имеет существенные отклонения от минимального значения, что обусловлено продолжительным охлаждением промежуточного раската и неравномерным распределением температуры по сечению рулона массой до 13 т. Использование «Coilbox» не обеспечивает удаление заднего утолщенного участка полосы. Для повышения теплосодержания промежуточного раската и, вместе с этим, уменьшения отклонений толщины по длине полосы рекомендуется установка на промежуточном рольганге теплосберегающего устройства и индукционной подогривательной печи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ткалич, К. Н.* Точная прокатка тонких полос [Текст] / К. Н. Ткалич, Ю. В. Коновалов. – М. : Металлургия, 1972. – 176 с. – Библиогр. : с. 171-175.
2. *Николаев, В. А.* Формирование толщины полосы при прокатке на широкополосных станах [Текст] / В. А. Николаев, А. Ю. Путники. – Запорожье : Дикое Поле, 2011. – 180 с. – Библиогр. : с. 166-179. – ISBN 978-966-2994-67-4.
3. *Николаев, В. А.* Расчет приращения толщины по длине полосы при горячей прокатке [Текст] / В. А. Николаев, А. Г. Васильев, Д. А. Матюшенко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2011. – № 8. – С. 146-150.
4. *Остапенко, Л. А.* Непрерывный широкополосный стан 1700 горячей прокатки Мариупольского меткомбината им. Ильича как объект модернизации [Текст] / Л. А. Остапенко, Ю. В. Коновалов, О. В. Клименко // Металл и литье Украины. – 2012. – № 1. – С. 12-17.
5. Технология процессов прокатки волочения. Листопрокатное производство [Текст] / М. М. Сафьян, В. Л. Мазур, А. М. Сафьян, А. И. Молчанов. – Київ : Вища школа, 1988. – 351 с. – Библиография в конце каждого раздела.
6. *Николаев, В. О.* Виробництво плоского прокату [Текст] / В. О. Николаев, В. Л. Мазур. – Запоріжжя : ЗДІА, 2010. – 320 с. – Бібліогр. : с. 310-317. – ISBN 978-966-8462-27-6.

Стаття надійшла до редакції 04.11.2013 р.
Рецензент, проф. В.В. Чигиринський

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>