

УДК 621.771

Николаев В. А.
Васильев А. А.**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРОКАТКИ ШИРОКИХ ПОЛОС**

Широкие тонкие полосы в настоящее время продолжают прокатывать на широкополосных станах горячей прокатки с использованием толстых слябов (ШСГП 1–4 поколений) [1–3]. При прокатке на этих станах (при отсутствии специальных регулирующих устройств) поперечная разнотолщинность полос составляет 0,08...0,10 мм, а продольная разнотолщинность достигает 0,15...0,3 мм (на задних концевых участках полос). Получение качественного профиля горячекатаной полосы решается на созданных в конце 20-го века литейно-прокатных модулях (ЛПМ) [2, 4], оснащенных технологией и устройствами, обеспечивающими получение точного поперечного и продольного профилей горячекатаных полос. Принимая во внимание, что эксплуатация существующих и строительство новых ШСГП продолжают [2] представляет интерес рассмотреть некоторые предложения по совершенствованию технологического процесса. В первую очередь отметим некоторые недостатки ШСГП с традиционной технологией прокатки полос [1, 2, 5, 6 и др.]:

1. Прокатка из слитков сопровождается большим расходом металла на концевую обрезь вследствие необходимости удаления усадочной рыхлости и прибыльной части в слябе.

2. Перед прокаткой на обжимном стане (слябинге) слитки нагревают в нагревательных колодцах до температуры $t_{наг} \approx 1220...1230$ °С, что требует значительного расхода газа и повышает стоимость проката. Применение посадки слитков в колодцы с повышенным теплосодержанием (с жидкой сердцевиной) обеспечивает сокращение расхода газа, времени нагрева слитков в колодцах, расхода электроэнергии на прокатку слитков в слябы [2].

3. Транспортировка слябов по транзитному рольгангу к ШСГП без теплосохраниющих экранов приводит к снижению температуры сляба на 20...30 °С.

4. К увеличению потери температуры раската приводит также значительные расстояния между клетями черновой группы и, следовательно, большое время прохождения раската по рольгангам черновой группы.

5. Расстояние между последней клетью черновой группы и первой клетью чистовой группы составляет ~ 65 м. На этом участке промежуточного рольганга раскат перемещается со скоростью $v_{np} \approx 2,25$ м/с, а при прокатке в чистовой группе скорость заднего раската уменьшается до $v_{зз} \approx 0,8...1,0$ м/с. При этом температура заднего конца раската при входе в первую клеть чистовой группы оказывается на $\Delta t_{np} \approx 55...65$ °С меньше, чем переднего конца (Δt_{np} – температурный градиент по длине раската). Абсолютное снижение температуры на промежуточном рольганге с $t_4 = 1040...1120$ °С до $t_5 = 960...1030$ °С перед клетью № 5 вызывает повышение энергосиловых параметров прокатки полосы в клетях чистовой группы. Уменьшение температуры по длине полосы в процессе прокатки (Δt_{np}) приводит к монотонному увеличению толщины полосы к заднему концу. Наличие устройства Coilbox (ППУ) позволяет сматывать раскат, выходящий из последней клетки черновой группы, в рулон с дальнейшей сменой направления прокатки раската в чистовой группе ШСГП. Применение ППУ на ШСГП 1680 ОАО «Запорожсталь» обеспечивает градиент температур по длине раската $\Delta t_{np} \approx 10...30$ °С.

6. На станах первого поколения клетки оснащены электромеханическими нажимными устройствами, которые не обеспечивают высокой скорости вертикального перемещения нажимных винтов для эффективного регулирования межвалкового зазора и толщины полосы.

7. На непрерывных станах концевые участки полос прокатывают без натяжений. Особенно это относится к заднему концу, прокатываемому без заднего натяжения, что в сумме, с учетом влияния температурного градиента, утолщение на заднем конце полосы может составлять $\delta h_{п} \approx 0,15...0,30$ мм [5–8]. Применение ППУ перед чистовой группой не обеспечивает существенного уменьшения утолщения заднего концевого участка готовой полосы и разнотолщинность на заднем конце составляет $\delta h_{п} \approx 0,12...0,20$ мм (данные ОАО «Запорожсталь»).

В последнее время, при надлежащем качестве поверхностей литых слябов, переходят на прямую прокатку слябов на ШСГП [2]. В отличие от станов первого поколения на станах следующих поколений сокращена длина черновой группы клетей за счет применения непрерывных групп из 2–3-х клетей, увеличена длина промежуточного рольганга (97,5...110 м) и увеличено количество клетей: в черновой группе до 5 клетей, а в чистовой группе до 7 клетей. На некоторых ШСГП для черновой прокатки сляба до промежуточного раската используют одну четырехвалковую реверсивную клеть (стан 4-го поколения). На некоторых ШСГП второго-четвертого поколений установлены ППУ. На станах второго-четвертого поколений в чистовых группах клетей полосы прокатывают с ускорением, что обеспечивает не только повышение его производительности, но и снижение продольной разнотолщинности полос вследствие уменьшения влияния температурного градиента промежуточного раската.

Таким образом, на ШСГП второго-четвертого поколений практически устранены 5 из 7 недостатков ШСГП первого поколения (см. выше). Осталась нерешенной задача уменьшения градиента температур по длине полосы и компенсации отсутствия натяжений концевых участков полос (п. 7). Известное предложение [5] по дополнительному обжатию заднего концевого участка полосы в клетях стана не может быть универсальным, так как эффективность снижается при увеличении жесткости полосы, т. е. при прокатке тонких полос. Дальнейшее совершенствование технологии горячей прокатки полосовой стали проявилось в создании литейно-прокатных модулей (ЛПМ) [2, 3].

Подробно полные технологические процессы на непрерывных станах холодной прокатки (НСХП) представлены в литературе [1, 3, 5, 8]. В настоящее время прокатку полосовой стали толщиной $h > 0,4$ мм осуществляют: на непрерывных четырехклетевых станах; на пятиклетевых непрерывных станах бесконечной прокатки; на реверсивных полосовых станах.

Отметим, что прокатка полосы в переходных процессах (при уменьшенной скорости) сопровождается увеличением толщины полосы вследствие увеличения коэффициента трения и силы прокатки. С целью уменьшения толщины полосы в переходных процессах (передний и задний концы, участок сварного шва) применяют дополнительное обжатие полосы [6, 7] в клетях 1–3 стана. Однако и при этом потери металла в обреш утолщенных участков составляет 2,5...4,5 %. Таким образом, действующие ШСГП и НСХП с традиционной технологией горячей и холодной прокатки полос продолжают работать [2, 3]. Применение такой технологии производства на металлургических комбинатах с устаревшим прокатным оборудованием не обеспечивает получение листов (полос) с высоким качеством продольного профиля и рациональными механическими свойствами.

Целью данной работы является предложение новых вариантов реконструкции ШСГП и НСХП применительно к предприятиям с порулонным способом производства, а также современным ЛПМ

В связи с указанным является актуальной задачей дальнейшего совершенствования технологических процессов обеспечивающих, получение конкурентно-способных горячекатаных качественных тонких полос, с повышением производительности станов. Повышение эффективности традиционных ШСГП может быть осуществлено, очевидно, различными путями, в том числе и при использовании нового технического решения – разделения чистовой группы из 6–7 клетей на две самостоятельные подгруппы клетей (по 2–4 клетки в каждой подгруппе) с промежуточным перемоточным устройством (ППУ-Coilbox) (см. рис. 1) [Комбинированный полосовой стан (КПС)] [10, 11].

Как следует из рис. 1, на КПС чистовая группа ШСГП разделена на две подгруппы по 3 клетки. После первой подгруппы 4 установлено ППУ-5 и дополнительно ножницы 8 и окалиноломатель 9, а затем самостоятельно работающая вторая подгруппа клетей 10. Промежуточный раскат 1 после черновой группы клетей подают (после ножниц 2 и окалиноломателя 3) в первую подгруппу 4 чистовой группы клетей (клетки *a-b*). Выходящая из клетки «3в» полоса сматывается в ППУ-5 (или в моталки с натяжением) со скоростью $v \geq 5...12$ м/с, а после окончания смотки полоса из рулона 6 направляется при помощи тянущих роликов 7 во вторую подгруппу клетей 10 (клетки *г-e*), в которой полосу прокатывают со скоростью

10...25 м/с. Полосы прокатывают одновременно в двух подгруппах. Деформационно-скоростной режим прокатки полосы рассчитывают таким образом, чтобы время прокатки во второй подгруппе клетей 10 было несколько меньше, чем в первой подгруппе клетей 4, а силовые параметры обеспечивали необходимую точность поперечного профиля полос. Регулирование температурного режима выполняется при помощи подачи воды на полосу из коллекторов 12 или нагрева в проходной индукционной печи 14. Полосы толщиной $h > 2$ мм транспортируются к моталкам по отводящему рольгангу с душирующей установкой. Полосы 11 толщиной $h < 2$ мм сматываются моталками 13, расположенными непосредственно за клетью 10, *e*, а затем рулоны передают на параллельный отводящий рольганг с разматывателем, душирующим устройством, двумя моталками и необходимым оборудованием (на рис. 1 не показано).

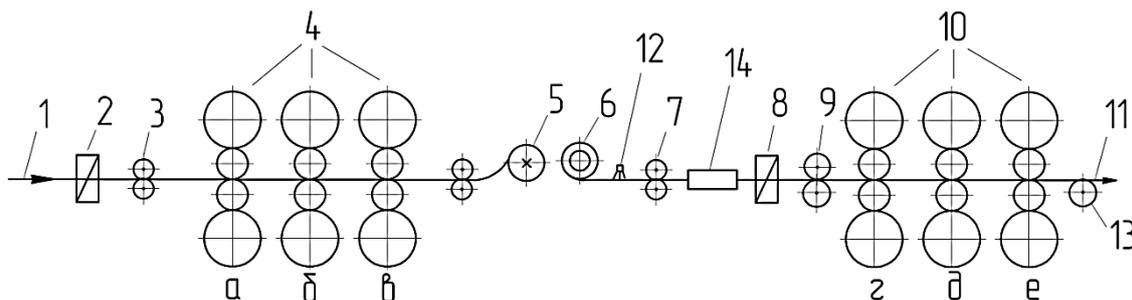


Рис. 1. Фрагмент ШСГП с разделенной чистой группой клетей (КПС); *a–e* – клетки

К достоинствам рассмотренного КПС (Комбинированного полосового стана) с разделенными подгруппами клетей чистой группы можно отнести следующее [11, 16].

1. Возможность применения в каждой подгруппе собственного температурно-деформационно-скоростного режима, не связанного постоянством секундного объема металла в клетях «*a–в*» и «*г–e*». Изменение величины суммарного обжатия полосы в каждой подгруппе позволяет влиять на структуру и механические свойства готовой полосы.

2. При наличии ППУ-5 оказывается возможным увеличить скорость прокатки в первой клетке чистой группы до 4...5 м/с, что обеспечит повышение производительности непрерывного стана, снижение температурного градиента по длине раската.

3. При наличии ППУ-5 во время и после смотки полосы в рулон 6 обеспечивается промежуточная рекристаллизация металла с устранением полосчатости его структуры перед деформацией во второй подгруппе клетей 10, выравнивание размеров зерен структуры, снижение величин напряжения течения за счет разупрочнения и энергосиловых параметров; снижается уровень внутренних дополнительных напряжений.

4. Температурные условия прокатки заднего конца полосы рулона 6 (бывшего передним в клетях 4), а также снижение силовых условий прокатки в клетях 10 (*г–e*), обеспечивают возможность прокатки на КПС полос толщиной $h < 1,5$ мм.

5. Смена положения концевых участков после клетей 4 (задний конец становится передним в рулоне 6) обеспечивает повышение точности продольного профиля полосы за счет смены направления температурного клина по длине полосы (с прямого на обратный относительно направления прокатки), а также более высокой температурой заднего конца полосы по сравнению с передним концом (бывшем задним концом в клетях 3, *в*).

Оценка возможностей предложенной технологии в уменьшении толщины концевых участков выполнена по разработанной ранее расчетной модели. Расчетные, по моделям [9, 12] сравнительные параметры прокатки на ШСГП 1680 (ОАО «Запорожсталь») представлены в работах [11, 16].

При прокатке на традиционном ШСГП [9] (без ППУ) толщина полосы по длине на заднем конце полосы изменяется в соответствии с расчетами [16] с $h = 2$ (участок 4) по сравнению с участком 2 составляет $\delta h_{II} \geq 0,153$ мм. При прокатке на КПС после перемотки раската после клетки № 4, *в* передний конец имеет большую толщину и меньшую температуру [11, 16]:

Передний конец полосы		Задний конец полосы
h_4 , мм	5,555	5,17
t_{K4} , °C	881,7	907

После перемотки промежуточного раската после клетки № 4,в и прокатки в клетях 8z–10e, толщина полосы на заднем конце (участок 4) оказалась на $\delta h_{II} = -0,094$ мм меньше минимальной толщины на участке 2 при такой же температуре окончания прокатки на КПС ($t_K = 792^\circ\text{C}$) и на ШСГП ($t_K = 793^\circ\text{C}$). Практически устраняется влияние на толщину температурного клина, образовавшегося перед клетью № 5 ($\Delta t_5 = 65^\circ\text{C}$). Получение горячекатаной полосы с уменьшенной, против минимальной, толщиной обеспечивает снижение рас хода металла в обрызг и повышает выход годного как при горячей, так и при холодной прокатке.

Таким образом, установка ППУ в чистой группе клетей традиционных ШСГП или ШСГП в линии ЛПМ, с разделением ее на две подгруппы, оказывает существенное воздействие на изменение толщины по длине полосы и открывает новые возможности для регулирования температурно-деформационно-скоростного режима прокатки. Широкополосный комбинированный полосовой стан (КПС) позволяет экономить металл и выпускать полосы без концевых утолщений. В этом случае продольный профиль горячекатаного подката способствует уменьшению концевой обрезки при стыковой сварке полос на непрерывно-травильном агрегате (НТА) ЦХП и улучшает условия деформации заднего участка полосы на НСХП.

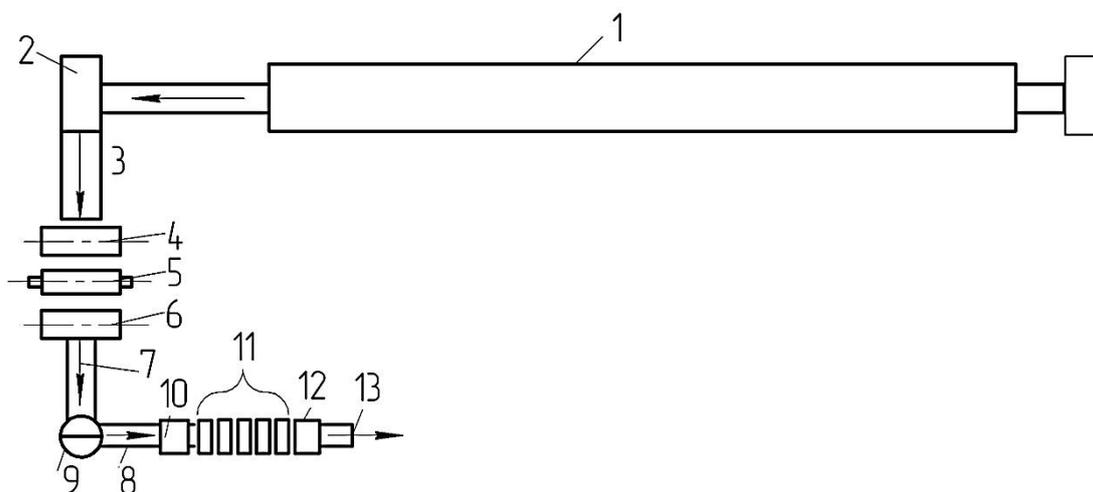


Рис. 2. Схема расположения оборудования при производстве холоднокатаных полос с промежуточным перемоточным агрегатом (ППА):

1 – НТА; 2 – свертывающая роликовая машина (моталка); 3 – транспортер; 4 – разматыватель; 5 – тянущие ролики; 6 – моталка; 7, 8 – передающие транспортеры; 9 – поворотный стол; 10 – разматыватель; 11 – НСХП; 12 – моталка; 13 – уборочное устройство

Далее рассмотрены два варианта совершенствования технологического процесса производства холоднокатаных полос. В первом варианте предусматривается установка нового дополнительного промежуточного перемоточного агрегата травленных горячекатаных полос (ППА) на участке между НТА и НСХП (см. рис. 2) или перед НТА [13]. Суть предлагаемого способа для существующей порулонной технологии производства холоднокатаных полос заключается в том, что внутренний более толстый конец полосы (после НТА), переводят при предварительной перемотке в положение верхнего витка и после перемотки задают его в клетки НСХП [13,14]. Известно, что длина переднего заправочного конца существенно меньше, чем длина утолщенного концевой участка при выпуске полосы из стана (при $v = 0,5 \dots 1,0$ м/с). Так, для станов типа 1700 длина готовой полосы на заправочном участке длина переднего конца составляет ~ 12 м, а длина заднего конца составляет ~ 50 м. Поэтому

после промежуточной перемотки горячекатаного рулона внешний, более толстый исходный конец полосы, будучи передним, меньше время прокатывают на заправочной скорости (длина ~ 12 м). Последующие ~ 38 м после ускорения стана в течение 2,0...2,5 с прокатывают в установившемся режиме при меньшей силе прокатки, по сравнению с прокаткой этого участка в случае расположения его на заднем конце. Новый технологический процесс прокатки полос опробован на четырехклетевом НСХП 1680 ОАО меткомбината «Запорожсталь»* [14]. При прокатке полос с размерами $0,9 \times 1000$ мм из стали 08кп три рулона массой $\sim 11,3$ т перемотаны без дополнительного обжатия на реверсивном стане 1680 с выводом на внешний виток более толстого конца (толщина горячекатаного подката $\sim 2,7$ мм, толщина заднего конца 2,82...2,85 мм). Опытные рулоны прокатывали по серийному режиму, а параметры прокатки фиксировали изотопным толщиномером с последующей обработкой данных в компьютерной системе.

На рис. 3 представлены экспериментальные профилограммы толщины готовых полос при серийной (а) и опытной (б) прокатках. Как следует из профилограмм, относительно минимальной толщины полосы ($\sim 0,9$ мм), суммарное утолщение переднего и заднего концевых участков полосы составляет (мм): серийная полоса – $\Sigma \delta h_{II} = 0,43$; опытная полоса – $\Sigma \delta h_{II} = 0,13$. В опытных рулонах большая длина концевых, дополнительно обжимаемых, участков прокатана в минусовом допуске. По данным компьютерной регистрации и обработки данных средняя длина годной готовой полосы увеличилась с $L_C = 1565$ м (96,47 % годного) в серийных рулонах до $L_{оп} = 1578$ м (97,39 % годного) в опытных рулонах, т. е. на 0,92 % больше. Таким образом, применение в промышленности на подобных станах предлагаемого технологического процесса при небольшом объеме инвестиций, позволит существенно улучшить продольный (и поперечный) профили и повысить выход годного металла.

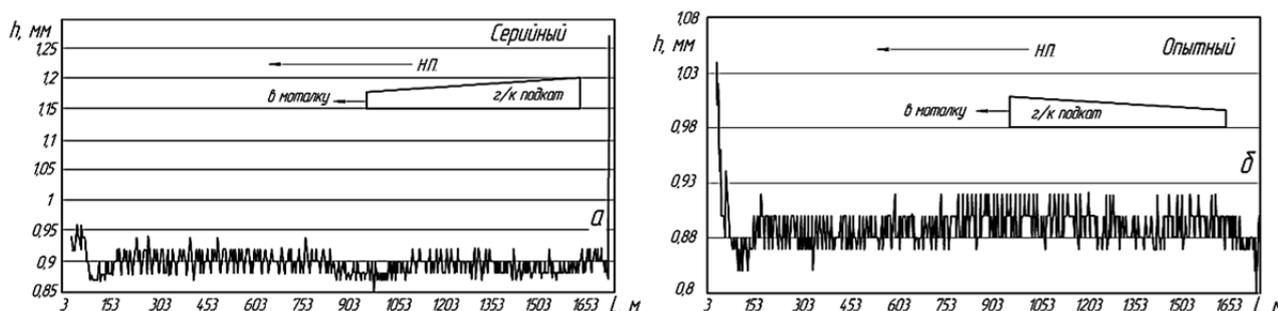


Рис. 3. Профилограмма толщины по длине полосы $0,9 \times 1000$ мм (ст. 08кп):

а – серийная прокатка; б – новая технология с перемоткой рулона (Н. П. – направление прокатки)

Ниже рассматривается еще один вариант нового процесса производства холоднокатаных полос (см. рис. 4) [15]. Основными достоинствами этого способа производства есть получение холоднокатаной полосы без утолщений на участках стыковой сварки смежных полос, повышение производительности стана за счет исключения прямых пауз между заправкой рулонов в клетки стана, повышение выхода годного проката. Новый способ производства холоднокатаных полос, включает травление горячекатаной полосы, предварительную пластическую ее деформацию в прокатной клетке, укрупнение рулонов и дальнейшую прокатку на НСХП на конечную толщину. При этом перед НСХП производят дополнительное укрупнение рулонов путем стыковой сварки смежных полос при заправочной скорости прокатки. Кроме того, применение совмещенного травильно-прокатного агрегата (СТПА) позволяет увеличить производительность ШСГП за счет увеличения толщины горячекатаного подката для цеха холодной прокатки, исключает необходимость использование громоздких напольных или подпольных петленакопителей.

* Испытания выполнены при участии Н. И. Пчелы.

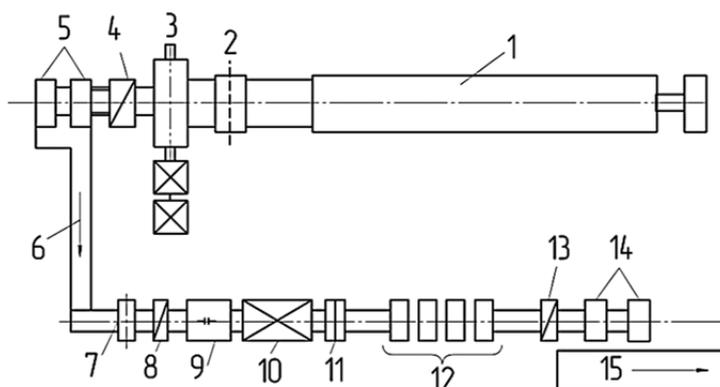


Рис. 4. Схема совмещенного травильно-прокатного агрегата

На рис. 4 представлена схема расположения СТПА и НСХП, которая поясняет предлагаемый способ производства холоднокатаных полос: из непрерывно-травильного агрегата (НТА) 1 горячекатаная полоса через натяжное устройство 2 направляется в прокатную клеть 3, в которой прокатывается в переменном деформационно-скоростном режиме; после этого полоса режется на ножницах 4 на мерные рулоны по сварному шву, свертывается на моталку 5, передается по конвейеру 6 к размотателю 7, из которого передний конец рулона поступает в агрегат 8, где ножницами отрезается передний и задний концы, в подвижной стыкосварочной машине 9 свариваются с передний и задний концы полос, и после снятия грата происходит прокатка полосы в четырех или пяти клетях на НСХП 12 по разработанному предварительно деформационно-скоростному режиму с задним натяжением от натяжного устройства 11. Готовую полосу после деления ножницами 13 сматывают на одну из моталок 14 и готовый рулон убирают от стана устройством 15.

После выхода горячекатаной полосы из НТА полосу прокатывают в четырехвалковой клетки, оборудованной гидравлическими нажимными устройствами, изменяющими межвалковый зазор со скоростью $v_{HV} \cong 2,0$ мм/с. Система СТПА оснащена устройствами контроля положения сварного шва и управлением воздействия на участок сварного шва во время нахождения его в прокатной клетке для совершения необходимого дополнительного его обжатия. Масса укрупненного рулона может составить 30...50 т и более. Рулон с предварительно деформированной полосой устанавливают в размотчик 7, обрезают передний конец и сваривают с задним концом предыдущего рулона и после удаления грата полосу прокатывают на НСХП. Особенностью производства полос на предлагаемом стане является то, что в процессе сварки концов горячекатаных полос в подвижной стыкосварочной машине 9 (время сварки ≤ 60 с) полоса прокатывается в НСХП со скоростью $v_4 \cong 0,5$ м/с, а питание первой клетки стана полосой осуществляют из петленакопителя 10. При этом скорость полосы перед первой клетью составляет:

$$v_0 = v_4 / \eta = 0,5 / 3,0 \approx 0,16 \text{ м/с}, \quad (1)$$

где η – коэффициент обжатия полосы ($\eta = H/h$); h – толщина готовой полосы.

Длина перемещения сварочной машины в процессе сварки, должна быть не меньше:

$$L_{ев} = t_{св} \times v_0 = 60 \times 0,16 = 9,6 \text{ м}. \quad (2)$$

После окончания сварки сварочная машина возвращается на прежнее место, а скорость прокатки полосы увеличивают до максимально возможной с регулированием межвалкового зазора для получения полосы с минимальной разнотолщинностью.

При массе рулона $G = 50$ т, толщина полосы (заготовки) перед НСХП равной $H = 2,7$ мм, толщине готовой полосы $h = 0,9$ мм, скорости полосы на выходе для четырехклетевого стана $v_4 = 15$ м/с, длина полосы (заготовки) $L_3 \approx 2500$ м, время прокатки составит:

$$t_{np} = L_3 / v_0 = L_3 \cdot \eta / v_4 = 2500 \cdot 3,0 / 15 = 500 \text{ с}. \quad (3)$$

С учетом вспомогательных операций время прокатки, очевидно, несколько увеличится. Предположим, что с учетом вспомогательных операций общее время прокатки составит $t_{np} = 600$ с (при отсутствии прямых пауз). Такой темп прокатки обеспечит часовую производительность стана в пределах $A \approx 300$ т/ч, что существенно больше, чем на подобных станах с традиционной технологией прокатки. Деление бесконечной полосы на рулоны необходимой массы выполняют на ножницах 13 и сматывают моталками 14.

ВЫВОДЫ

Предлагаемые новые технологические процессы производства широких полос позволяют увеличить производительность станов и повысить выход и качество годного металла. Это позволит отечественным предприятиям достойно конкурировать как на внешних, так и на внутренних рынках металлопродукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафьян М. М. *Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство : учебник* / М. М. Сафьян, В. Л. Мазур, А. М. Сафьян, А. И. Молчанов. – К. : Вища школа, 1988. – 351 с.
2. Коновалов Ю. В. *Справочник прокатчика. Часть 1. Производство горячекатаных полос и листов* / Ю. В. Коновалов. – М. : Теплотехник, 2008. – 640 с.
3. Коновалов Ю. В. *Справочник прокатчика. Часть 2. Производство холоднокатаных полос* / Ю. В. Коновалов. – М. : Теплотехник, 2010. – 608 с.
4. Минаев А. А. *Совмещенные металлургические процессы* / А. А. Минаев. – Донецк : Технопарк ДонГТУ УНИТЕХ, 2008. – 552 с.
5. Ткалич К. Н. *Точная прокатка тонких полос* / К. Н. Ткалич, Ю. В. Коновалов. – М. : Металлургия, 1972. – 176 с.
6. Николаев В. О. *Виробництво плоского прокату* / В. О. Николаев, В. Л. Мазур. – Запоріжжя : ЗДА, 2010. – 320 с.
7. Николаев В. А. *Прокатка широкополосной стали* / В. А. Николаев, А. Ю. Путнюки. – К. : Освіта України, 2009. – 268 с.
8. Железнов Ю. Д. *Статистические исследования точности тонколистовой прокатки* / Ю. Д. Железнов, С. Л. Коцарь, А. Г. Абиев. – М. : Металлургия, 1974. – 240 с.
9. Николаев В. А. *Формирование толщины полосы при прокатке на широкополосных станах* / В. А. Николаев, А. Ю. Путнюки. – Запорожье : Дикое поле, 2011. – 180 с.
10. Патент на изобретение (полезную модель) № 58909. *Способ горячей прокатки полос* / Николаев В. А., Васильев А. Г., Николаева А. В., Васильев А. А. – Бюл., 2011, № 8, от 26.04.11.
11. Николаев В. А. *Пути совершенствования технологии производства на ШСГП* / В. А. Николаев, А. Г. Васильев, А. А. Васильев // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2011. – № 4. – С. 48–52.
12. Николаев В. А. *Определение продольной разнотолщинности горячекатаных полос* / В. А. Николаев, Д. А. Матюшенко // *Металл и литье Украины.* – 2007. – № 8. – С. 20–22.
13. Решение о выдаче декларационного патента на изобретение (полезную модель) №и 2011 10913 от 12.09.2011. *Способ холодной прокатки полос* / Николаев В. А., Путнюки А. Ю., Николенко А. Г., Васильев А. Г., Васильев А. А.
14. Николаев В. А. *Холодная прокатка полос на НСХП после предварительной перемотки горячекатаных рулонов* / В. А. Николаев, А. Ю. Путнюки, А. Г. Николенко, А. Г. Васильев, А. А. Васильев // *Вестник Национального технического университета «ХПУ» : сб. науч. тр. : темат. выпуск : Новые решения в современных технологиях.* – Харьков : НТУ «ХПУ», 2011. – № 47. – С. 28–36.
15. Решение о выдаче декларационного патента на изобретение (полезную модель) №и 2012 00164 от 19.01.2012. *Способ производства холоднокатаных полос* / Николаев В. А., Васильев А. А.
16. Николаев В. А. *Особенности прокатки на комбинированном полосовом стане* / В. А. Николаев, А. А. Васильев // *Металл и литье Украины.* – 2011. – № 8. – С. 3–7.

Николаев В. А. – д-р техн. наук, проф. ЗНТУ;

Васильев А. А. – соискатель ЗНТУ.

ЗНТУ – Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье.

E-mail: senator0023@hotbox.ru

Статья поступила в редакцию 01.03.2012 г.