

УДК621.771.(0.75.8)

В.А. Николаев, профессор, д.т.н.

ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВА ШИРОКОПОЛОСНОЙ СТАЛИ

Запорожская государственная инженерная академия

Широкоштабові стани з традиційною технологією працюють на багатьох металургійних підприємствах різних країн світу. Подібні стани, які введено в експлуатацію декілька десятків років назад, зберегли в основі структуру технологічного процесу, що не забезпечує одержання штаб за профілем, механічними властивостями та вартістю. На заміну цим станам прийшли нові агрегати, де усунуто багато недоліків, що забезпечує підвищення якості готової продукції.

Ключові слова: широкоштабова сталь, безперервна прокатка, стан, технологія.

Широкополосные станы с традиционной технологией работают на многих металлургических предприятиях различных стран мира. Подобные станы, введенные в эксплуатацию несколько десятков лет назад, сохранили в основе структуру технологического процесса, которая не обеспечивает получение полосовой стали по профилю, механическим свойствам и стоимости. На смену этим станам пришли новые агрегаты, в которых устранены многие недостатки, что обеспечивает повышение качества готовой продукции.

Ключевые слова: широкополосовая сталь, непрерывная прокатка, стан, технология.

Figures for rolling of widely stripes with traditional technology presently work on many metallurgical plants of different world countries. Similar figures, put into an operation a few ten of years back, saved in basis the structure of technological process, which does not provide the receipt of rolling steel on a type, mechanical properties and cost. New aggregates, in which are removed many failings, that providing increase qualities of products, came on changing to these figures.

Keywords: widely stripe steel, continuous rolling, figure, technology.

В последние 25-30 лет в зарубежной металлургии происходит преобразование технологической дискретной цепочки производства горячекатаной широкополосной стали (слиток-слябинг-ШСГП) в совмещенные процессы, минуя промежуточные звенья получения слитка и сляба: машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) для получения толстого сляба – широкополосный стан горячей прокатки (ШСГП), а также литейно-прокатные агрегаты (ЛПА), обеспечивающие прокатку полосы из тонкого сляба.

При производстве холоднокатаных полос создают травильно-прокатные комплексы, в которых непрерывно-травильные агрегаты (НТА) совмещают с бесконечным процессом на непрерывном стане холодной прокатки (НСХП). Новые технологии с новым составом оборудования обеспечивают получение высококачественных полос с отклонением толщины полосы по всей длине в пределах до 30 мкм (0,03 мм) с минимальным отклонением механических свойств [1-6].

Получение высококачественной продукции в условиях станов с традиционной технологией прокатки представляет определенные сложности, но возрастающие требования потребителей обуславливают необходимость проведения серьезных реконст-

руктивных мероприятий. Так, для НСХП 1680 (ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь») и 1700 (ОАО «Металлургический комбинат им. Ильича», г. Мариуполь), где практически нет возможности соединить травильные агрегаты и непрерывные станы холодной прокатки в совмещенные технологические линии, задачу улучшения качества продукции следует решать за счет оснащения станов современными системами контроля и автоматического управления процессом холодной прокатки [1-3]. При ограниченных мощностях производства проката на предприятиях совершенствование технологического процесса и оборудования выполняют без остановки или при кратковременной остановке стана, как это имело место на ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» при установке системы «Coilbox» на промежуточном рольганге ШСНП 1680.

Очевидно такой путь реконструкции ШСГП и НСХП с традиционными технологиями позволит существенно улучшить качество прокатываемых полос. Но это возможно в том случае, когда производители прокатной продукции будут вкладывать часть средств в развитие предприятий [1].

В работах [2,3] представлен обзор и описание основных недостатков оборудования и технологических процессов горячей и холодной прокатки полосовой стали на широкополосных станах традиционной постройки.

Отметим основные известные недостатки производства полос с разливкой малоуглеродистой стали в изложницы и прокаткой из слитков толстых слябов (рис. 1,а):

- потери металла в концевую обрезь при прокатке толстых слябов (9...12 %);
- дополнительный расход энергии на нагрев и прокатку удаляемых концевых участков длины слябов с усадочной раковиной;
- затраты дополнительной энергии для нагрева слябов перед ШСГП или потери теплоты при транзитной прокатке слябов на ШСГП;
- расход металла в окалину и обрезь при прокатке на слябинге и на ШСГП (более 2,5...3,0 %);
- большие потери теплоты при транспортировке раската по промежуточному рольгангу ШСГП (50...100 °С);
- наличие утолщенных концевых участков полос при прокатке их на ШСГП без натяжения;
- потери металла в обрезь концевых участков горячекатаной полосы перед стыковой сваркой в линии НТА НСХП (до 1,5 %).

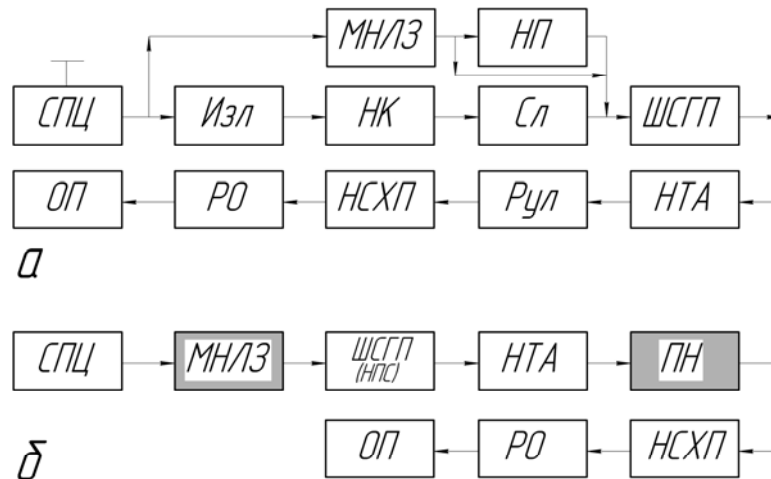
В случае использования толстых литых слябов с МНЛЗ (рис. 1,а) потери металла на участке до ШСГП практически исключаются, существенно сокращаются энергетические затраты, особенно при транзитной прокатке на ШСГП.

Существенное улучшение технико-экономических показателей производства полос достигается на ЛПА (рис. 1,б), в линии которых применяют непрерывнолитые тонкие заготовки (слябы), а вместо порулонной холодной прокатки применяют бесконечный процесс прокатки с использованием петленакопителей горячекатаной полосы. В ряде случаев совмещают в один бесконечный процесс НТА и НСХП с петленакопителями полосы в линии НТА и перед НСХП. По данным [3], в конце 1999 г. из более 200 действующих в мире НСХП около 70 были совмещены тем или иным образом с НТА. Причем чаще совмещенные процессы создают на уже действующих НСХП порулонной прокатки путем их реконструкции.

Тем не менее, созданные в последнее время прогрессивные технологические процессы производства широкополосной стали, на наш взгляд, имеют и некоторые

недостатки. Так, процесс прокатки тонкой полосы из промежуточного раската $H_p = 15...35$ мм (после черновых клетей) на непрерывном полосовом стане (НПС) ЛПА, состоящем из 5-7 клетей содержит, как правило, три этапа [2,4,5]:

- прокатка полосы при скорости $v_1 = 10...12$ м/с (до захвата переднего конца полосы моталкой);
- дальнейшее ускорение вращения валков и повышение скорости полосы до $v_2 \geq 20$ м/с;
- последующая прокатка полосы со скоростью $v_3 \geq 20$ м/с до выхода ее из чистой клетки.



СПЦ - сталеплавильный цех; Изл - разливка жидкой стали в изложницы; НК - нагрев слитков в нагревательных колодцах; Сл - прокатка слэбов на слэбинге; МНЛЗ - машина непрерывного литья толстых заготовок (слябов); ШСГП - прокатка в черновой и чистой группах широкополосного стана горячей прокатки; НТА - удаление окалины в линии непрерывного травильного агрегата; Рул - передача рулонов с НТА на стан; НСХП - прокатка рулонов на непрерывном стане холодной прокатки; РО - рекристаллизационный отжиг; ОП - отделка прокатки (дрессировка, резка); МНЛЗ - получение тонких слэбов на машине непрерывного литья заготовок; ПН – петленакопитель

Рисунок 1 – Перечень основных операций при производстве широкополосной стали традиционным способом (а) (из толстых слэбов) и из тонких слэбов (б):

Недостатками данной технологии служат:

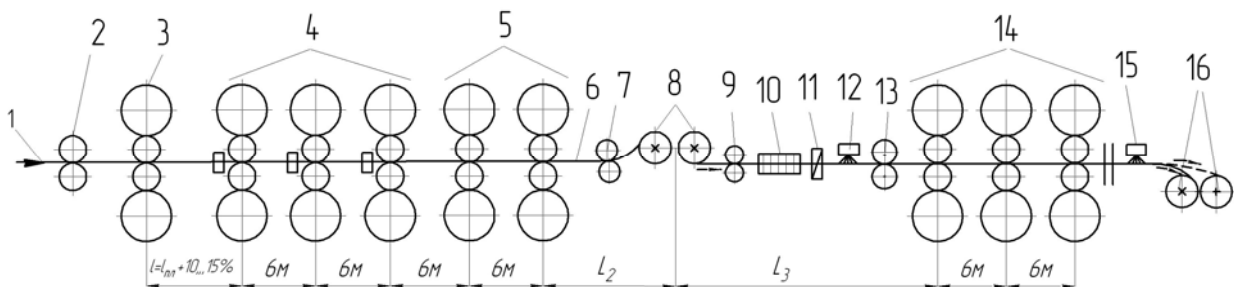
- необходимость ускорения вращения валков всех 5-7 клетей после захвата полосы моталкой, на что затрачивается значительное количество электроэнергии;
- сложности в оперативном регулировании деформационно-температурного режима прокатки полос в 5-7 клетях для получения требуемых механических свойств;
- при прокатке полос при пониженных конечных температурах до $750...800$ °С задействованы все 5-7 клетей, что приводит к существенным потерям электроэнергии при деформации металла.

Данные замечания в полной мере относятся и к технологии прокатки полос на ШСГП с традиционным использованием толстых слэбов ($H = 160...300$ мм) для получения тонких полос. Указанные выше недостатки технологических процессов ШСГП и ЛПА могут быть устранены при их реконструкции путем использования предлагаемых ниже технических разработок.

Новая технология прокатки на ШСГП (НТ). Описание предлагаемых новых технологических процессов представлено, в частности, в работах [7-11], поэтому в

данной статье отметим только основные достоинства новой технологии (НТ) горячей прокатки полос на ШСГП (НТ).

Главным достоинством предлагаемой технологии (рис. 2) является размещение основной доли пластической деформации ($> 90\%$) в черновой группе клетей, где раскат имеет максимальную температуру, с выпуском из последней клетки черновой группы подката толщиной $3...12$ мм (всего в черновой группе достаточно 6-ти клетей). Высокая температура раската и небольшие скорости прокатки в первых клетях черновой группы обеспечивают снижение энергозатрат на деформацию в пределах $10...15\%$ по сравнению с существующими типами ШСГП (рис. 3,4) (стан 1700, полоса $2,5 \times 1250$ мм, ст. 08пс) [11].



1 - сляб; 2 - окалиноломатель; 3 - черновая клетя кварто; 4 - универсальные черновые клетки кварто с вертикальными валками; 5 - черновые клетки кварто; 6 - промежуточный раскат; 7 - направляющие ролики; 8 - ППУ с теплосберегающим экраном (барабанные моталки); 9 - тянущие ролики; 10 - проходная индукционная печь; 11 - ножницы; 12 - душирующее устройство; 13 - чистовой окалиноломатель; 14 - непрерывная чистовая группа клетей; 15 - душирующее устройство готовой полосы; 16 - моталки готовой полосы

Рисунок 2 – Схема ШСГП (НТ)

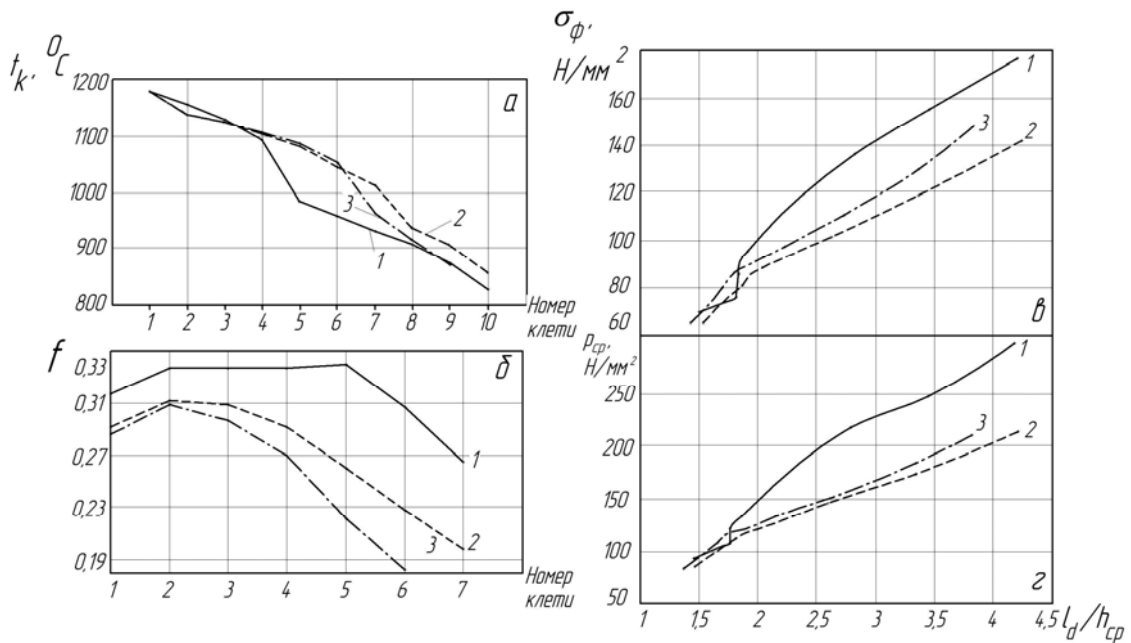
Наибольшее приращение температуры при меньшей толщине полосы, по сравнению с серийным ШСГП, имеет место в клетях №№ 5-7 и составляет $90...100\text{ }^\circ\text{C}$, что оказывает заметное влияние на остальные параметры деформации (рис. 3,4). При этом коэффициент трения в клетях №№ 4-7 уменьшается на $5...15\%$, напряжение течения – на $15...20\%$, а среднее нормальное контактное напряжение – на $25...30\%$.

В результате изменения деформационно-скоростного режима прокатки в черновой и чистовой (три клетки) группах клетей оказывается возможным повышение температуры полосы в клетях чистовой группы и на выходе из нее до $t_k \approx 859...871\text{ }^\circ\text{C}$, что заметно выше, чем на серийном ШСГП ($t_n \approx 832\text{ }^\circ\text{C}$). Предлагаемая схема ШСГП (НТ) – 9 клетей (рис. 2) обеспечивает увеличение скорости прокатки полосы в последних клетях №№ 5-7 черновой группы (рис. 4).

Сила прокатки снижается с $16...19$ до $8...9$ МН от клетки № 1 к клетки № 4 (ШСГП) и клетям №№ 6(7) ШСГП (НТ) (рис. 4). После уменьшения температуры при перемотке на промежуточно-перемоточном устройстве (ППУ) сила прокатки возрастает на всех станах с последующим уменьшением силы до $4...4,5$ МН в последней чистовой клетки. При этом в клетях №№ 4-6 сила прокатки на ШСГП (НТ) существенно меньше, чем на ШСГП (в клетях №№ 5-7). Существенно снижается приращение толщины полосы на заднем концевом участке (рис. 4,б).

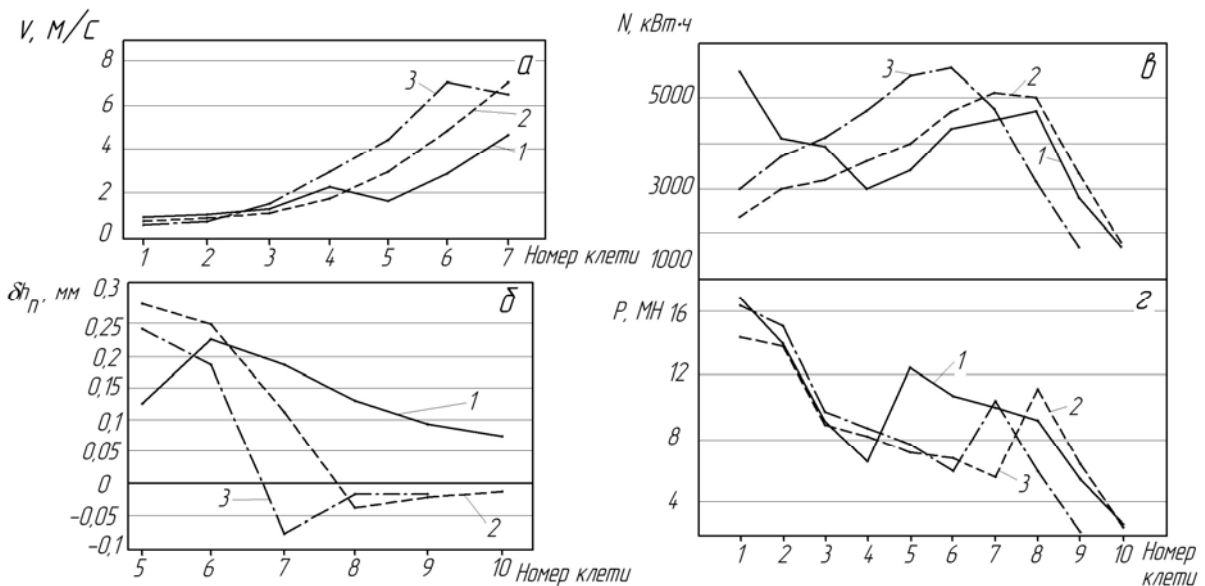
Промежуточный раскат сматывают на «Coilbox» (ППУ) или на барабанные моталки (2 шт.) с защитными экранами со скоростью до $10...12$ м/с. Перед чистовой группой, состоящей из трех клетей (кварто- или шестивалковые) установлена индук-

ционная печь (ИПП), которая позволяет регулировать (стабилизировать) температуру тонкого промежуточного раската перед прокаткой в чистовой группе. Наличие душирующего устройства обеспечивает получение заданной температуры деформации металла на выходе из чистовой группы в пределах до 700...800 °С. Применение тонкого промежуточного раската облегчает получение требуемых температур конца прокатки и механических свойств готовой полосы.



1 - ШСГП; 2 - ШСГП (НТ) - 10 клеток; 3 - ШСГП (НТ) - 9 клеток.
(клетки №№ 1-7(6) участок 2 с минимальной силой прокатки)

Рисунок 3 – Изменение начальной температуры раската по клетям станов (а), коэффициента трения (б) по клетям станов, среднего сопротивления металла деформации (в) и среднего нормального контактного напряжения (г) в зависимости от фактора формы очага деформации



1 - ШСГП; 2 - ШСГП (НП) 10; 3 - ШСГП (НП) 9

Рисунок 4 – Изменение скорости прокатки (а) (клетки №№ 1-7(6), участок 2) (а), утолщения заднего конца на участке 4 (б), мощности (в) и силы прокатки (г) по клетям станов

Применение трех клетей в чистой группе (а не 5-7 клетей в ШСГП) сокращает энергозатраты при ускорении валков со скорости $v = 10 \dots 15$ м/с в чистой клети до $v = 20$ м/с и более после захвата полосы моталкой в установившемся режиме прокатки полос.

Стабилизация температуры по длине промежуточного раската (возможно и повышение температуры к заднему концу раската), а также применение промежуточной перемотки тонкого раската, компенсируют отсутствие натяжений концов раскатов и позволяют прокатывать полосы с уменьшенной, против номинала, толщиной заднего конца и снижением расхода металла в обрызг.

Мощность прокатки неравномерно распределена по клетям, и максимальная ее величина наблюдается в клети № 6 ШСГП (НТ)-9 (рис. 4,в). При прокатке одного и того же профиля полосы ($v = 10$ м/с в последней клети) суммарная мощность прокатки в чистовых клетях почти в два раза меньше (табл. 1), а суммарная мощность во всех клетях ШСГП (НТ) на $\sim 3 \dots 5,5$ % меньше, чем на серийном ШСГП (табл. 2).

Таблица 1 – Суммарная мощность прокатки в чистовых клетях стана

Скорость перемещения полосы, м/с	Мощность прокатки в чистовых клетях стана, кВт		
	ШСГП	ШСГП (НТ)-10	ШСГП (НТ)-9
10	21548	10091	9823
15	31249	13915	13572
20	42874	16453	16011

Таблица 2 – Суммарная мощность в черновых и чистовых клетях стана при прокатке полосы 2,5 x 1250 мм

Скорость перемещения полосы, м/с	Мощность прокатки в чистовых клетях стана, кВт		
	ШСГП	ШСГП (НТ)-10	ШСГП (НТ)-9
10	38196	36029	36772
15	47897	39853	40521
20	59522	42391	42960

Еще больший эффект снижения мощности прокатки имеет место при скоростях $v = 15 \dots 20$ м/с, то есть после ускорения стана. Так, суммарная мощность прокатки во всех клетях стана на ШСГП (НП) по сравнению с ШСГП при $v = 15$ м/с снижается на $15 \dots 16,5$ %, а при $v = 20$ м/с – на $26 \dots 27$ % в основном за счет снижения мощности прокатки в первых трех клетях станов при меньшей скорости прокатки. Кроме того, более чем в два раза уменьшается мощность, затрачиваемая на ускорение трех чистовых клетей ШСГП (НТ) против ускорения 6-7 клетей ШСГП вследствие снижения массы вращающихся частей.

На рис. 4,б представлен количественный характер приращения толщины на заднем концевом участке полосы после прокатки в клетях №№ 5-10. Во всех случаях заданная толщина полосы для всех станов соответствовала переднему участку 2 была равна 2,5 мм. Приращение толщины заднего концевого участка полосы (участок 4) обусловлено меньшей его температурой по длине раската и отсутствием заднего натяжения полосы на всех межклетевых участках ШСГП и соответствующим изменением отношения P_i/M_{Pi} (P_i и M_{Pi} – сила прокатки и модуль жесткости полосы на участках) по сравнению с фиксированным участком с минимальной толщиной полосы на

расстоянии примерно 30 м от переднего конца полосы (участок 2). Приращение толщины δh_i на участке 4 по сравнению с участком 2 определяли по формуле [8-16]:

$$\delta h_i = \frac{P_3 - P_1}{M_{\text{дд}} + (\dot{I}_{i3} - \dot{I}_{i2})},$$

где P_i, P_2 – сила прокатки соответственно на i -ых участках и на участке 2 длины полосы; $M_{\text{дд}}, M_{\text{дд}2}$ – модуль жесткости полосы соответственно для i -ых участков и участка 2 длины полосы; $M_{\text{кл}}$ – модуль жесткости клетки.

Как следует из расчетов (рис. 4), при прокатке на серийном стане ШСГП максимальное утолщение $\delta h = 0,074$ мм соответствует участку 4 заднего конца, где толщина полосы оказалась равной $h_4 = 2,574$ мм. Как показывает практика на подобных станах (ШСГП 1680 ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь») [16] приращение толщины на участке 4 может быть и больше, так как тепловой режим полосы в рулоне на ППУ не контролируется и не регулируется. Это замечание можно отнести ко всем станам, имеющим ППУ и на которых отсутствуют дополнительные устройства для стабилизации теплового режима прокатки полосы в чистовых клетях. При прокатке в клетях № 10 на ШСГП (НТ) толщина полосы на участке 4 оказалась в минусовом допуске, что позволяет уменьшить расход металла и продольную разнотолщинность холоднокатаных полос.

Выводы. Выполнен анализ изменения основных параметров прокатки полосовой стали на широкополосных станах различного типа: на традиционном ШСГП с ППУ перед чистовой группой и на ШСГП (НТ). На ШСГП (НТ) основная деформация раската предусматривается в клетях черновой группы (6-7 клетей), а заключительный деформационный этап выполняется в чистовой группе из трех клетей, перед которой установлено ППУ и проходная индукционная печь. Такая схема расположения рабочих клетей обеспечивает:

- повышение температуры раската (полосы) по всей линии стана на 25...39 °С после чистовой клетки;
- повышение точности прокатки полосы за счет уменьшения толщины заднего концевой участка и температурного клина;
- возможность сокращения на одну единицу общего количества клетей ШСГП при прокатке полос на ШСГП (НТ)-9;
- снижение суммарной мощности прокатки на стане на 15...25 % за счет повышения температуры прокатки и уменьшения количества клетей чистовой группы, участвующих в процессе ускорения полосы после захвата ее переднего конца моталкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазур, В. Л. Первоочередные задачи и пути их решения при модернизации листопрокатных мощностей Украины [Текст] / В. Л. Мазур, А. К. Голубченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – № 2 (279). – С. 1-5.
2. Коновалов, Ю. В. Справочник прокатчика [Текст] / Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос. – М. : Теплотехника, 2008. – 640 с. – Библиогр. : с. 626-640. – ISBN 5-98457-060-2.
3. Коновалов, Ю. В. Справочник прокатчика [Текст] / Книга 2. Производство холоднокатаных листов и полос. – М. : Теплотехника, 2010. – 608 с. – Библиогр. : с. 596-608. – ISBN 5-98457-084-х.

4. Совершенствование прокатки сверхтонкой полосы из непрерывнолитых тонких слябов [Текст] / *Ф. Стелла*, А. Карбони, П. Бабич, И. Фарук // *Сталь*. – 2003. – № 11. – С. 58-65.
5. Новый способ горячей прокатки тонких полос [Текст] / *И. Грот*, Л. Сьеревогель, М. Корнелиссен и др. // *Черные металлы*. – 2004. – Июль-август. – С. 30-32.
6. *Янсен, Х.* Прогресс в развитии литейно-прокатного агрегата компании «THYSSEN KRUPP STEEL» [Текст] / *Х. Янсен*, Э. К. Совка // *Черные металлы*. – 2007. – № 6. – С. 30-32.
7. Широкоштабовий стан гарячої прокатки [Текст] : пат. 77200 Україна: / *Николаев В. О.*, Васильев А. О. ; заявник й патентовласник *Николаев В.О.*, Васильев А.О. – Опубл. 11.02.2013. – Бюл. № 3.
8. *Николаев, В. А.* Варианты реконструкции непрерывных станов для прокатки полос [Текст] / *В. А. Николаев*, А. А. Васильев // *Производство проката*. – 2012. – № 6. – С. 2-9.
9. *Николаев, В. А.* О рациональном размещении Coilbox в линии широкополосного стана [Текст] / *В. А. Николаев*, А. А. Васильев // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 6 (277). – С. 28-33.
10. *Николаев, В. А.* Исследования параметров, способы и устройства прокатки полос [Текст] / *В. А. Николаев*. – Запорожье : Акцент Инвест-Трейд, 2012. – 264 с. – Библиогр. : с. 245-260. – ISBN 978-966-2602-14-2.
11. Спосіб виробництва холоднокатаних штаб [Текст] : пат. 71395 Україна / *Николаев В. О.*, Васильев А. О. ; заявник й патентовласник *Николаев В.О.*, Васильев А.О. // Опубл. 10.07.2012. – Бюл. № 13.
12. *Николаев, В. А.* Теория прокатки. [Текст] / *В. А. Николаев*. – Запорожье : ЗГИА 2007. – 228 с. – Библиогр. : с. 218-224. – ISBN 976-966-7101-86-2.
13. *Николаев, В. А.* Оценка точности формул для расчета среднего контактного напряжения при холодной прокатке [Текст] / *В. А. Николаев* // *Известия Вузов. Черная металлургия*, 2004. – № 11. – С. 32-36.
14. *Николаев, В. А.* Расчет силы при горячей прокатке [Текст] / *В. А. Николаев* // *Известия Вузов. Черная металлургия*. – 2005. – № 11. – С. 24-30.
15. *Николаев, В. О.* Виробництво плоского прокату [Текст] / *В. О. Николаев*, В. Л. Мазур. – Запоріжжя : ЗДІА, 2010. – 320 с. – Библиогр. : с. 310-317. – ISBN 978-966-8462-27-6.
16. *Николаев, В. А.* Формирование толщины полосы при прокатке на широкополосных станах [Текст] / *В. А. Николаев*, А. Ю. Путноки. – Запорожье : Дикое Поле, 2011. – 180 с. – Библиогр. : с. 166-179. – ISBN 978-966-2994-67-4.

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>