

УДК 621.771

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.3.7>

В.А. ФЕДОРІНОВ

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
ORCID:0000-0002-2671-0970

О.І. ВОЛОШИН

ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод», м. Краматорськ
ORCID: 0000-0002-3703-7224

А.М. КУЛІК

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
ORCID:0000-0003-3268-6505

А.В. БАРАБАШ

ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод», м. Краматорськ
ORCID:0000-0001-8433-2827

М.В. ФЕДОРІНОВ

ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод», м. Краматорськ
ORCID:0000-0002-5803-2625

А.К. КОХ

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
ORCID:0000-0001-6776-4572

НОВИЙ СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА ЛИСТІВ І СМУГ ТА ПРОКАТНІ СТАНИ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

У роботі висунуто нове технологічне рішення, пов'язане з виготовленням широких листів і смуг з вузьких слябів без операції розбивки сляба по ширині, а також варіанти прокатних станів для його реалізації.

Новий спосіб передбачає прокатку сляба в хвилеподібне чорновому калібрі, отримання хвилеподібного розкату, з подальшою операцією розгладження хвиль перед прокаткою в чистової кліті (чистової групі клітей) до товщини готового листа (смуги) шириною більше ширини сляба.

Це дозволяє скоротити цикл прокатки, використовувати сляби довжиною більше довжини бочок валків чорнової кліті, виключити опуклість бічних крайок розкату, зменшити опуклість переднього і заднього кінців листа (смуги) а, отже, бічну і кінцеву обріз. Прокатка слябів уздовж веде до зниження сили прокатки, падіння температури металу, витрати енергії, зменшення довжини бочок валків і металосмності чорнової кліті (клітей), збільшення їх жорсткості, підвищення точності прокатки, збільшення разових обтиснень. Поліпшується деформаційне опрацювання металу, з'являються додаткові можливості впливу на рівень фізико-механічних властивостей прокату. Полегшується видалення окалини, відпадає необхідність в чистовому окалиноломача на широкосмуговому стані. Зменщується ширина підвідних рольгангів, а на широкосмугових станах - міжклітьових і проміжного рольгангів. Усувається необхідність в установці на товстолистових станах швидкодіючих гідравлічних натискних пристроїв і системи автоматизованого управління формою розкатів в плані. Основні технологічні переваги способу зберігаються і при модернізації діючих станів.

Ключові слова: гаряча прокатка, широкий лист (смуга), новий спосіб, основи способу, переваги реалізації, обладнання.

В.А. ФЕДОРІНОВ

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск
ORCID:0000-0002-2671-0970

А.И. ВОЛОШИН

ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод», г. Краматорск
ORCID: 0000-0002-3703-7224

А.М. КУЛИК

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск
ORCID:0000-0003-3268-6505

А.В. БАРАБАШ

ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод», г. Краматорск
ORCID:0000-0001-8433-2827

М.В. ФЕДОРІНОВ

ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод», г. Краматорск
ORCID:0000-0002-5803-2625

А.К. КОХ

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск
ORCID:0000-0001-6776-4572**НОВЫЙ СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВ И ПОЛОС И ПРОКАТНЫЕ СТАНЫ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ**

В работе выдвинуто новое технологическое решение, связанное с изготовлением широких листов и полос из узких слябов без операции разбивки сляба по ширине, а также варианты прокатных станов для его реализации.

Новый способ предполагает прокатку сляба в волнообразном черновом калибре, получение волнообразного раската, с последующей операцией разглаживания волн перед прокаткой в чистовой клети (чистой группе клеток) до толщины готового листа (полосы) шириной больше ширины сляба. Это позволяет сократить цикл прокатки, использовать слябы длиной больше длины бочек валков черновой клети, исключить выпуклость боковых кромок раската, уменьшить выпуклость переднего и заднего концов листа (полосы) а, следовательно, боковую и концевую обрезь.

Прокатка слябов только вдоль ведет к снижению силы прокатки, падения температуры металла, расхода энергии, уменьшению длины бочек валков и металлоемкости черновой клети (клетей), увеличению их жесткости, повышению точности прокатки, увеличению разовых обжатиий. Улучшается деформационная проработка металла, появляются дополнительные возможности влияния на уровень физико-механических свойств проката. Облегчается удаление окалины, отпадает необходимость в чистовом окалиноломателе на широкополосном стане.

Уменьшается ширина подводящих рольгангов, а на широкополосных станах – межклетевых и промежуточного рольгангов. Устраняется необходимость в установке на толстолистовых станах быстродействующих гидравлических нажимных устройств и системы автоматизированного управления формой раскатов в плане. Основные технологические преимущества способа сохраняются и при модернизации действующих станов.

Ключевые слова: горячая прокатка, широкий лист (полоса), новый способ, основы способа, преимущества реализации, оборудование.

V.A. FEDORYNOV

Donbass state engineering academy, Kramatorsk
ORCID:0000-0002-2671-0970

O.I. VOLOSHIN

PJSC “Novokramatorsky Mashynostroitelny zavod”, Kramatorsk
ORCID: 0000-0002-3703-7224

O.M. KULIK

Donbass state engineering academy, Kramatorsk
ORCID:0000-0003-3268-6505

A.V. BARABASH

PJSC “Novokramatorsky Mashynostroitelny zavod”, Kramatorsk
ORCID:0000-0001-8433-2827

M.V. FEDORYNOV

PJSC “Novokramatorsky Mashynostroitelny zavod”, Kramatorsk
ORCID:0000-0002-5803-2625

A.K. KOKH

Donbass state engineering academy, Kramatorsk
ORCID:0000-0001-6776-4572**THE NEW METHOD OF PRODUCING SHEETS AND STRIPS AND ROLLING MILLS FOR ITS IMPLEMENTATION**

This science work presents a new technological solution associated with the manufacture of wide sheets and strips of narrow slabs without the operation of dividing the slab in width, as well as options for rolling mills for its implementation.

The new method involves rolling the slab in a wavy rough caliber, obtaining a wavy roll, followed by the operation of smoothing the waves before rolling in the finishing stand (finishing group of stands) to the thickness of the finished sheet (strip) width greater than the width of the slab.

This allows you to reduce the rolling cycle, use slabs longer than the length of the barrels of the rolls of the roughing stand, eliminate the convexity of the side edges of the roll, reduce the convexity of the front and rear ends of the sheet (strip) and, consequently, side and end trim. Rolling slabs only along leads to a decrease in rolling force, falling metal temperature, energy consumption, reducing the length of the barrels of rolls and

metal capacity of the rough stand (stands), increase their rigidity, increase the accuracy of rolling, increase one-time compression.

The deformation processing of metal improves, there are additional opportunities to influence the level of physical and mechanical properties of rolled metal. Scale removal is facilitated, there is no need for a clean scale breaker in the broadband state. Descaling is facilitated, there is no need for a finishing descaler on a broadband mill. The width of the feeding roller tables decreases, and on wide-strip mills - the interstand and intermediate roller tables. Eliminates the need to install on thick-sheet mills high-speed hydraulic pressure devices and automated control systems in the form of rolls in the plan. The main technological advantages of the method are preserved during the modernization of existing mills.

Keywords: hot rolling, wide sheet (strip), new method, method basics, implementation advantages, equipment.

Анализ последних исследований и публикаций

Доля листового проката в общем объеме прокатного производства в последние десятилетия в различных странах достигает 40...65 %. В Украине в 2004 г она составила около 57 %.

Исходной заготовкой для производства листов и полос преимущественно являются непрерывнолитые слябы, при этом для производства толстых листов используют слябы толщиной до 350 мм и шириной до 3200 мм. В то же время ширина листов для изготовления труб большого диаметра и строительства супертанкеров достигает 5350 мм [1].

Поскольку в большинстве случаев слябы имеют относительно небольшие длину и ширину, возникает необходимость применения на толстолистовых станах (ТЛС) различных схем прокатки, в которые включена операция «разбивка ширины», позволяющая получить заданную ширину листа (вплоть до 5350 мм), если длина (при поперечной схеме прокатки) или ширина (при продольной схеме прокатки) сляба достичь этого не позволяет. При этом следует иметь в виду, что необходимость использования операции разбивки ширины сляба (прокатки с выверсткой) ограничивает массу сляба, так как его длина лимитируется длиной бочки валков, а это ведет к снижению производительности стана и увеличению боковой обрезки листа вследствие искажения формы раската в плане.

В числе основных направлений развития технологии прокатки листов на ТЛС, кроме повышения производительности станом, следует отметить стремление к максимальному приближению формы листов в плане к прямоугольной, получению листов с высоким уровнем физико-механических свойств непосредственно при прокатке и после неё [1–3].

Очевидно, что повышение производительности ТЛС по готовому прокату можно обеспечить, увеличивая массу слябов и скорости прокатки, а также сокращая потери времени на вспомогательные операции, в числе которых и разворот сляба или раската на 90° в схемах прокатки с разбивкой ширины, и уменьшая потери металла на боковую и концевую обрезь, то есть повышая выход годного.

Приближение к прямоугольной форме листов в плане достигается за счет управления формой раскатов в плане с использованием в качестве исходной заготовки слябов с различной формой поперечного сечения [1, 4], с помощью клетей с вертикальными валками либо способом, основанном на профилировании широких или узких граней сляба или раската в вертикальных или горизонтальных валках [1, 3, 5–7]. Наибольший эффект обеспечивает управление формой раската в плане, когда в черновой клети с горизонтальными валками прокатку раската производят с переменной по его длине деформацией, которую осуществляют путем перемещения горизонтальных валков в вертикальной плоскости [1, 8–14]. Профилирование осуществляют в двух пропусках: в последнем пропуске при протяжке – для управления выпуклостью раската по ширине и в последнем пропуске при разбивке ширины – для уменьшения длины неровных торцев (концов листа). Описанный способ получил название в Японии MAC-процесса (автоматическая система регулирования формы листа). Эта же технология была реализована фирмой «USINOR» и «CLESIM» (Франция), и «VAI» (Австрия) [15]. При её использовании, когда заготовками являются слябы, достигается выход годного до 96 % [1, 11], при этом суммарные потери в обрезь снижаются с 3,48 % (без управления формой раскатов) до 1,97 % (с переменным обжатием по толщине в горизонтальных валках [16]). Однако следует отметить, что реализация такой технологии требует правильного выбора размеров слябов при сохранении заданной массы, наличия на ТЛС быстродействующих гидравлических нажимных устройств, а процесс должен быть обеспечен системой автоматизированного управления.

Одним из перспективных направлений улучшения свойств конструкционных материалов является получение стабильной мелкозернистой структуры в листовых материалах. При деформационном измельчении структуры происходит разделение зерен поликристаллического материала на разориентированные области меньшего размера. Достижение больших степеней деформации позволяет осуществить такое разделение и даже обеспечить измельчение зерен металлических материалов вплоть до наноразмеров [17–19]. Прокатка дает возможность получения крупногабаритных субмикро- и наноструктурированных заготовок (слябов, блюмов), а также листов и

широких полос на существующих прокатных станах без использования специального дорогостоящего оборудования [18, 20].

Одним из способов интенсификации процесса накопления деформации в заготовке без изменения её формы по классификации Я.Е. Бейгельзимера [21] является метод повторяющегося рифления-выпрямления. При прокатке листовой стали этот метод нашел применение в работах [22–26]. Так в работе [22] описан способ получения листового проката, который заключается в последовательной деформации слитка из прямоугольного в поперечном сечении профиля в волнообразный и снова в прямоугольный, при этом волнообразный профиль придают слитку в волнообразном калибре, симметричном относительно его осевой горизонтальной плоскости. В другом случае [23] при прокатке широких листов получают рифлёную заготовку с чередованием выступов и впадин, а затем деформируют ее в гладких валках до получения заготовки с плоской поверхностью, при этом осуществляют многократное преобразование формы поверхности от плоской к рифленой в нечетных проходах и от рифленой к плоской – в четных и заменой впадин рифленой заготовки в каждом предыдущем нечетном проходе выступами последующего нечетного прохода, перекрывающими упомянутые впадины. Наконец, в работе [24] предложен способ получения толстых листов, включающий продольную прокатку сляба, поворот полученного раската, разбивку ширины до требуемой ширины листа, затем поворот раската для продольной прокатки на толщину подката, передаваемого в чистовую клеть, и прокатку до толщины готового листа, в котором прокатку сляба на раскат, разбивку полученного раската до требуемой ширины листа и последующую прокатку до толщины подката, подаваемого в чистовую клеть, проводят в волнообразном калибре, при этом толщина участков впадин подката превышает в 1,5–4 раза толщину готового листа, а величина первого обжатия после каждого поворота равна удвоенной глубине впадины волнообразного калибра, при этом боковые кромки раскатов прокатывают на гребнях волнообразного калибра.

Во всех рассмотренных случаях [22–24] и других [25, 26], в первую очередь обжатию подвергаются участки подката с выпуклой поверхностью, при этом наряду с течением металла вдоль оси прокатки металл течет и в поперечном направлении, заполняя впадины профиля. Таким образом создаются благоприятные условия для улучшения деформационной проработки металла по толщине и, как следствие, измельчения структуры металла и заваривания внутренних дефектов, снижения анизотропии физико-механических свойств, а также очистки поверхности раската от окалины.

В отличие от задач, которые решаются в работах [22–26], авторами работы [27] была сделана попытка реализации идеи получения в валках с волнообразным калибром раската, ширина которого после разглаживания волн больше длины бочки валков. Суть способа [27] заключается в том, что по мнению его авторов лист или полосу «шириной больше длины бочки валков» можно получить литьем-прокаткой, при этом предполагается, что отливают заготовку одинаковой толщиной с криволинейной по ширине формой (с гофрами), обжимают её по толщине последовательным пропуском через клетки стана с рабочими валками, которые имеют соответствующую заготовке криволинейную форму по длине бочек валков, затем пропускают заготовку в последующей клетке между гладкими по длине бочек валками и выравнивают (выпрямляют) криволинейность (гофры), после чего правят листы (полосы) последовательным сгибанием в правильных роликах, или растяжением.

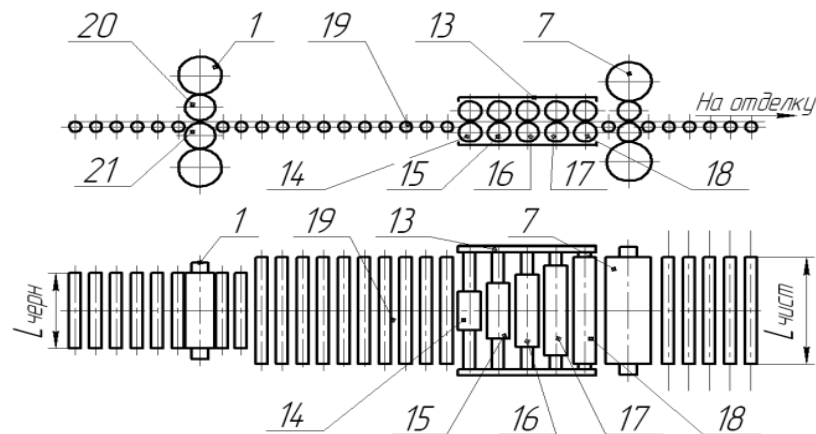
Надо отметить, что в описанном варианте технологии по способу [27] невозможно одновременно разгладить (выровнять) криволинейность, то есть все волны (гофры) на раскате в одну стадию в одной паре гладких валков. К сожалению, авторами этой работы не учтен тот факт, что в пределах каждой волны и смежных с нею волн в местах контакта вершин волн с гладкими бочками валков действуют силы трения, направленные навстречу друг другу, которые препятствуют смещению вершин волн по образующим поверхностям бочек валков вдоль их осей. В таком случае просто осуществляется процесс прокатки раската с уширением, не превышающем его естественной величины (для широких листов и полос не более 1 %). К недостаткам способа [27] также можно причислить использование заготовки с криволинейной по ширине формой (с гофрами), что требует использования специальной и сложной конструкции кристаллизатора, роликов секций зоны вторичного охлаждения и правильно-тянущей клетки машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) при получении непрерывнолитых волнообразных (с гофрами) заготовок и, как следствие увеличение капитальных и текущих затрат на изготовление заготовок, а также сужение сортамента МНЛЗ. Кроме того, ограничены возможности интенсивной деформационной проработки литого металла по толщине с созданием макросдвиговых деформаций, что не позволяет активно влиять на улучшение механических свойств листа и полосы. Отсутствуют условия, обеспечивающие уменьшение длины неровных концов («языка» и «хвоста») листа и полосы, что снижает выход годного проката. Также усложнены условия удаления первичной (после непрерывного литья) или печной (после нагрева в печи) и вторичной (после черновой клетки или черновой группы клетей) окалины, что негативно сказывается на качестве поверхностей листа или полосы. Кроме того, имеют место повышенные потери тепла заготовкой с предварительно сформированными (в процессе литья) волнами (гофрами) перед прокаткой в черновой клетке или группе клетей, что увеличивает расход

енергии на прокатку. Необходимость использования операции правки листа или полосы после выравнивания гофр вызывает сомнение и в противном случае это усложняет технологию, увеличивает протяженность цикла получения готового проката, снижает производительность прокатных станов.

Цель исследования

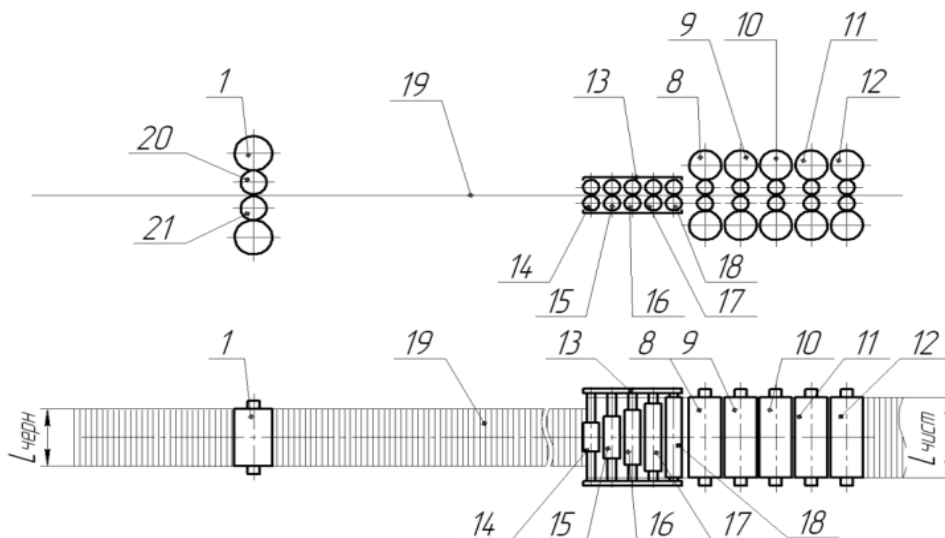
Целью настоящей работы является выдвигание нового технологического решения, связанного с изготовлением листов и полос, обеспечивающего возможность прокатки широких листов и полос из узких слябов без включения в схему прокатки операции разбивки ширины сляба, позволяющего сократить цикл прокатки, увеличить выход годного проката и, как следствие, обеспечить рост производительности станов по готовому прокату, а также снизить расход энергии на прокатку, улучшить деформационную проработку металла, повысить качество готового проката, уменьшить капитальные затраты.

Решение поставленных задач достигается при реализации нового способа производства горячекатаного листа или полосы, в котором прокатку заготовки проводят в волнообразном калибре рабочих валков черновой клетки толстолистного стана (ТЛС) (рис.1) или полунепрерывного широкополосного стана (ПНШС) (рис.2) или клетях черновой группы непрерывного широкополосного стана (НШС) (рис. 3) с получением волнообразного раската с последующей его прокаткой в рабочих валках чистовой клетки ТЛС или чистовой группы клетей НШС, ПНШС с гладкими бочками до толщины готового листа или полосы прямо-угольного профиля шириной больше ширины заготовки.



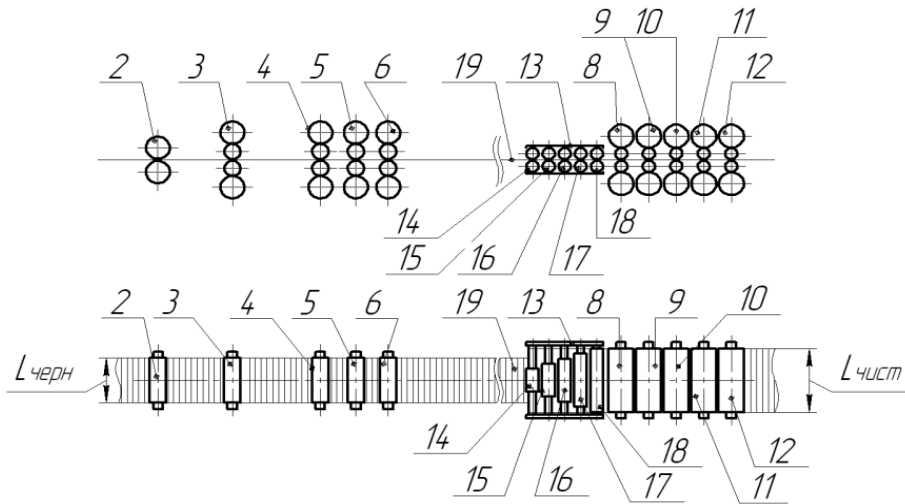
1 – черновая реверсивная клеть; 7 – чистовая реверсивная клеть; 13 – многороликовая правильная машина; 14, 15, 16, 17, 18 – пары роликов правильной машины; 19 – промежуточный рольганг; 20, 21 – рабочие валки черновой реверсивной клетки

Рис. 1. Схема расположения клетей толстолистного стана (ТЛС)



1 – черновая реверсивная клеть; 8, 9, 10, 11, 12 – клетки чистовой непрерывной группы; 13 – многороликовая правильная машина; 14, 15, 16, 17, 18 – пары роликов правильной машины; 19 – промежуточный рольганг; 20, 21 – рабочие валки черновой реверсивной клетки

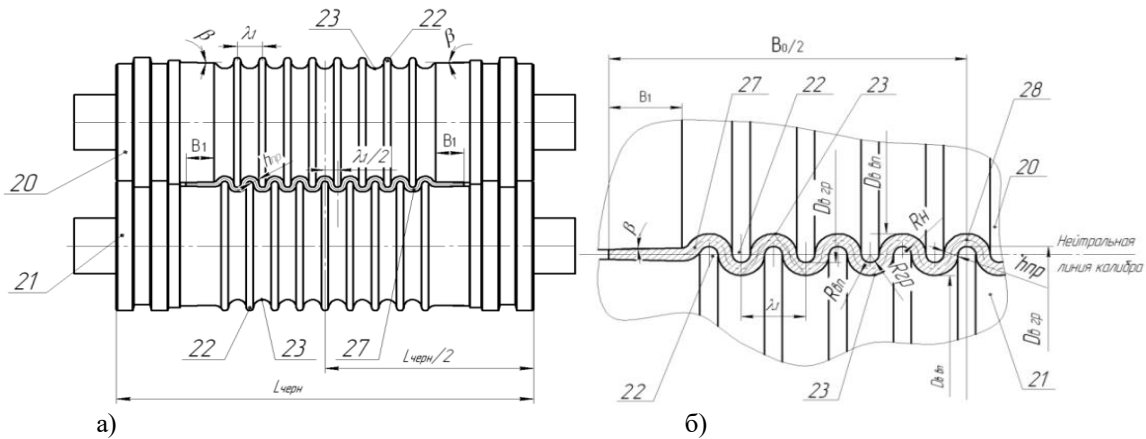
Рис. 2. Схема расположения клетей полунепрерывного широкополосного стана (ПНШС)



2 – черновой окалиноломатель; 3, 4, 5, 6 –клетки черновой группы; 8, 9, 10, 11, 12 –клетки чистовой непрерывной группы; 13 –многороликковая правильная машина; 14, 15, 16, 17, 18 – пары роликов правильной машины; 19 – промежуточный рольганг

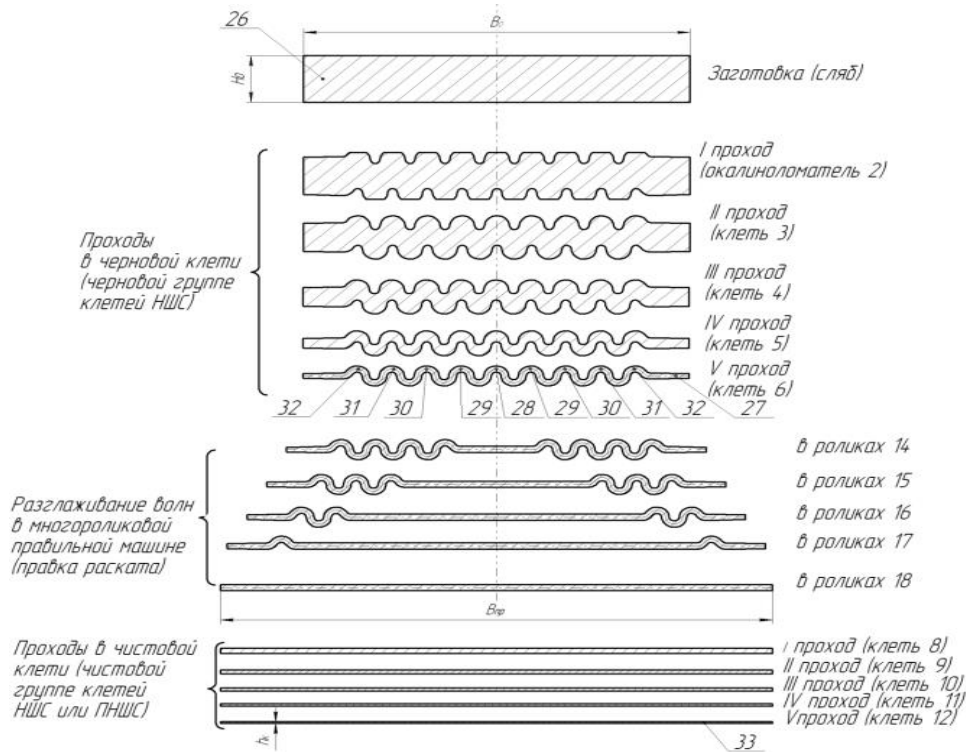
Рис.3. Схема расположения клеток непрерывного широкополосного стана (НШС)

При осуществлении способа используют заготовку (сляб) прямоугольного в поперечном сечении профиля, выполняют нечетное число проходов в одной черновой клетке ТЛС, ПНШС или в клетках черновой группы НШС и в последнем нечетном проходе в черновой клетке ТЛС, ПНШС или в последней клетке черновой группы НШС получают благодаря, образованному рабочими валками эквидистантному волнообразному раскату одинаковой толщины $h_{пр}$ по всей его ширине (рис. 5). Волны раската дальше поочередно разглаживают, преимущественно без обжатия по толщине, в многороликовой правильной машине в поперечном направлении между парами приводных роликов до получения раската, который в планшетном виде после разглаживания волн до необходимой ширины листа или полосы передают в чистовую клетку ТЛС или чистовую группу клеток НШС, ПНШС.



20, 21 – рабочие валки; 22 – гребень волнообразного калибра; 23 – впадина волнообразного калибра; 27 – волнообразный раскат промежуточной толщиной $h_{пр}$; 28 – волна на раскате

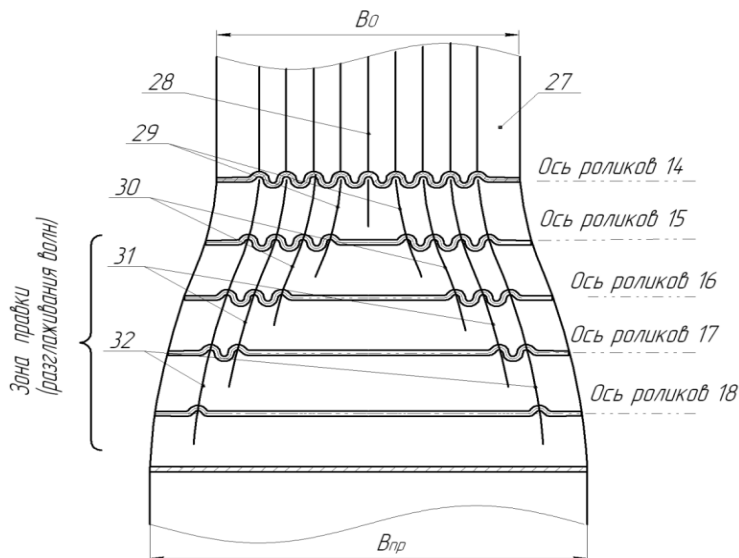
Рис. 4. Схема положения рабочих валков черновой клетки ТЛС (ПНШС) в последнем черновой проходе или последней клетке черновой группы НШС (а) и схема и геометрические параметры валков и поперечного сечения волнообразного раската толщиной $h_{пр}$ с длиной волны λ_1 (б)



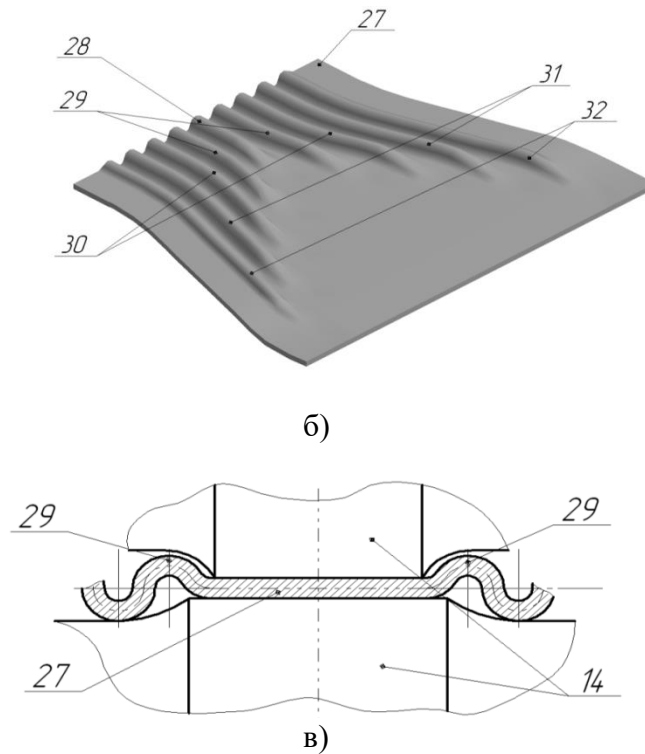
26 – заготовка (сляб); 27 – волнообразный раскат промежуточной толщиной $h_{пр}$; 28, 29, 30, 31, 32 – волны на раскате; 33 – готовый лист толщиной h_k

Рис.5. Схема преобразования заготовки (сляба) в волнообразный раскат с последующим разглаживанием волн и прокаткой до толщины готового листа (полосы)

В первом случае (рис. 6) последовательное разглаживание волн волнообразного раската в многороликовой правильной машине проводят таким образом, что в первой паре роликов разглаживают центральную волну, во второй паре роликов – пару волн, смежных центральной волне, в третьей и последующих парах роликов – следующую за предшествующей паре волн соответственно (также см. рис. 5).



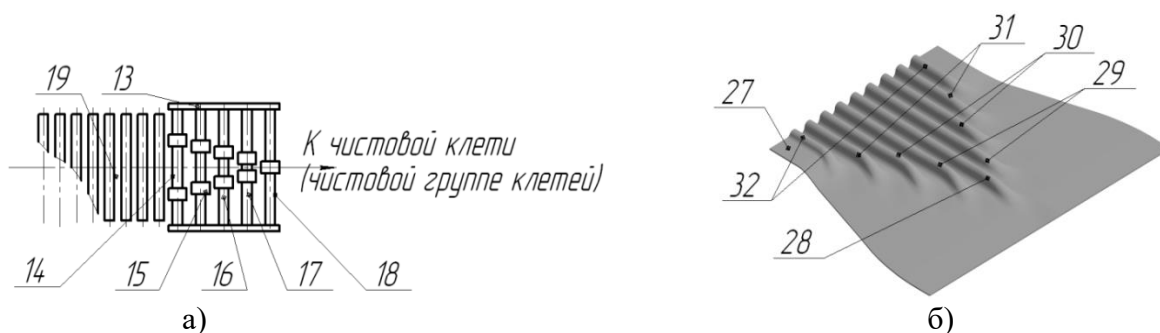
а



14 – пара роликів правильної машини; 27 – волнообразний раскат промежуточной толщины $h_{пр}$; 28, 29, 30, 31, 32 – волны на раскате

Рис. 6. Схема расширения волнообразного раската в роликах правильной машины в процессе разглаживания волн (а), вид волнообразного раската в процессе правки (б), схема разглаживания центральной (нечетной) волны волнообразного раската в первой паре роликів правильной машины (в) по первому варианту правки

Во втором случае (рис.7) последовательное разглаживание волн волнообразного раската в многороликовой правильной машине проводят таким образом, что в первой и в каждой из следующих пар роликів до последней, разглаживают последовательно крайние волны по бокам каждой из кромок раската, а в последней паре роликів – только центральную волну.



13 – многороликовая правильная машина; 14, 15, 16, 17, 18 – пары роликів правильной машины; 19 – промежуточный рольганг; 27 – волнообразный раскат промежуточной толщины $h_{пр}$; 28, 29, 30, 31, 32 – волны на раскате

Рис.7. Схема многороликовой правильной машины для правки (разглаживания) волн волнообразного раската (а) и вид волнообразного раската в процессе правки (б) по второму варианту правки

В волнообразном калибре на валках черновой клети ТЛС (ПНШС) или черновой группы клетей НШС радиус гребней, количество волн и их длина λ (см. рис. 4) могут изменяться в зависимости от

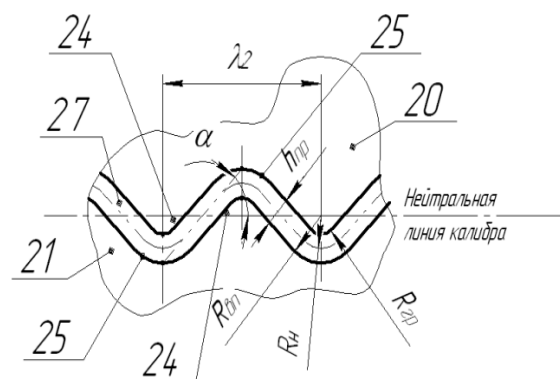
размеров сляба и готового проката. Волнообразный калибр выполняют симметричным относительно вертикальной плоскости, проходящей через центр бочек валков, кроме того, гребни калибра на бочке одного из рабочих валков соосны с впадинами калибра на бочке другого рабочего валка, причем, по краям волнообразного калибра могут быть предусмотрены гладкие участки бочек рабочих валков с конусностью β .

Стан оборудуют многороликовой правильной машиной (см. рис. 1–3), размещенной перед чистовой клетью ТЛС или чистовой группой клетей НШС (ПНШС) симметрично продольной оси раската, в которой пары приводных роликов установлены так, что их оси попарно лежат в общих для них вертикальных плоскостях, а количество пар роликов равно половине парного, увеличенного на единицу, числа волн на волнообразном раскате, при этом бочки роликов каждой пары выполнены длиной пропорциональной длине волны раската.

Наряду с этим, в первом случае (см. рис. 1–3 и рис. 6, в), в многороликовой правильной машине бочки роликов каждой пары имеют разную длину, которая растет по ходу движения волнообразного раската пропорционально длине волны раската. А во втором случае (см. рис.7), в многороликовой правильной машине каждый из роликов пары кроме последней пары, выполнен с парами бочек, разнесенными вдоль осей роликов симметрично продольной оси раската, при этом длина каждой из бочек пропорциональна длине волны раската и одинакова на всех роликах, но ролики выполнены так, что расстояние между бочками на каждой из следующих пар роликов меньше на длину бочки, а каждый ролик последней пары оборудован одной бочкой.

На наш взгляд рациональным является волнообразный калибр с длиной волны $\lambda_1 = 2(2R_{гр} + h_{пр})$, который образуют кольцевые проточки с контурами в виде полуокружностей гребней радиусом $R_{гр}$ и впадин радиусом $(R_{гр} + h_{пр})$, чередующихся и сочетающихся между собой, выполненные на бочках рабочих валков со смещением $(2R_{гр} + h_{пр})$, где $h_{пр}$ – промежуточная толщина раската после черновой клетки ТЛС (ПНШС) или черновой группы клетей НШС.

Можно использовать также волнообразный калибр (рис.8) с длиной волны $\lambda_2 = 4(R_{гр} + h_{пр}) \operatorname{tg} \alpha$, который образуют кольцевые проточки с контурами в виде дуг гребней радиусом $R_{гр}$ и впадин радиусом $(R_{гр} + h_{пр})$, чередующихся и сочетающихся между собой с помощью касательных линий, выполненные на бочках рабочих валков со смещением $2(R_{гр} + h_{пр}) \operatorname{tg} \alpha$, где α – угол между нейтральной линией калибра и отрезком, соединяющим вершины смежных впадин на валках.



20, 21 – рабочие валки; 24 – дуга гребня; 25 – дуга впадины; 27 – волнообразный раскат промежуточной толщиной $h_{пр}$

Рис. 8. Схема и геометрические параметры поперечного сечения волнообразного раската толщиной $h_{пр}$ с длиной волны λ_2

Использование при реализации нового способа заготовки в виде сляба прямоугольного в поперечном сечении профиля позволяет применять не только литые, но и катаные слябы, обеспечить возможность более интенсивной деформационной проработки литого металла по толщине с созданием макросдвиговых деформаций, что позволяет более активно влиять на уровень физико-механических свойств готового проката. Последнее обусловлено тем, что в пределах каждой волны волнообразного калибра наряду с течением металла вдоль оси прокатки имеет место и его поперечное течение. Это обстоятельство позволяет снизить уровень и даже вероятность появления анизотропии механических свойств листа (полосы), что имеет место [1] при реализации традиционной чисто продольной схемы прокатки.

Улучшаются условия удаления печной окалины в волнообразном калибре, а в процессе разглаживания волн в результате их перегиба в правильной машине имеет место и ломка вторичной (воздушной) окалины, образующейся на промежуточном рольганге, что в итоге положительно сказывается на качестве поверхностей листа (полосы). Последнее может позволить отказаться от чистового окатиноломателя в составе чистовой группы клетей НШС (ПНШС).

Наличие с двух сторон волнообразного калибра гладких участков бочек рабочих валков с конусностью β (см. рис. 4) позволяет в пределах этих участков увеличить вытяжки боковых кромок раската, вследствие чего уменьшится концевая обрезь и дополнительно увеличится выход годного проката за счет сокращения длины нервных концов листа (полосы).

Наконец, использование заготовки (сляба) прямоугольного сечения, ширина которой меньше ширины готового листа (полосы) и прокатка её в валках с волнообразным калибром черновой клетки ТЛС (ПНШС) или черновой группы клетей вдоль и без изменения ширины позволяет уменьшить потери тепла в раскате с более компактной поверхностью теплоотдачи, снизить силу прокатки ввиду меньшей площади контакта металла с валками, а, следовательно, и затраты энергии на прокатку.

Наличие в линии прокатного стана многороликовой правильной машины позволяет реализовать операцию последовательного разглаживания волн раската в парах роликов только по одной или две волны симметрично продольной оси раската с получением необходимой ширины листа или полосы.

Прокатный стан для производства горячекатаного листа или полосы (см. рис. 1–3) состоит из черновой реверсивной клетки 1 (для ТЛС или ПНШС) или черновой группы клетей 2–6 (для НШС), где клеть 2 – черновой окатиноломатель, а также чистовой реверсивной клетки 7 (для ТЛС) или клетей 8–12 чистовой непрерывной группы (для НШС или ПНШС). Перед чистовой реверсивной клетью 7 ТЛС или клетями 8–12 чистовой непрерывной группы НШС (или ПНШС) установлена многороликовая правильная машина 13 (см. рис. 1–3 и рис. 7) с парами приводных роликов 14–18. Здесь может применяться один из её вариантов, описанных выше. Между черновой реверсивной клетью 1 ТЛС (или ПНШС) или черновой группой клетей 2–6 НШС и многороликовой правильной машиной 13 расположен промежуточный рольганг 19.

Черновая реверсивная клеть 1 ТЛС (или ПНШС) или клетки 2–6 черновой группы клетей НШС имеют рабочие валки 20 и 21 (см. рис. 4), на бочках которых выполнены кольцевые проточки, которые образуют волнообразный калибр и имеют контуры, в одном случае, в виде полуокружностей гребней 22 и впадин 23, чередующихся и сочетающихся между собой, с длиной волны λ_1 (см. рис. 4), а в другом случае – в виде дуг гребней 24 и впадин 25, чередующихся и сочетающихся между собой с помощью касательных линий с длиной волны λ_2 . При этом кольцевые проточки на бочках рабочих валков 20 и 21 выполнены со смещением, равным половине длины волны. Волнообразный калибр выполнен симметричным относительно вертикальной плоскости, проходящей через центр бочек валков, кроме того, гребни 22 калибра на бочке одного из рабочих валков 20 соосны с впадинами 23 калибра на бочке другого рабочего валка 21, причем по краям волнообразного калибра предусмотрены гладкие участки бочек рабочих валков 20 и 21 с конусностью β (см. рис. 4).

Все рабочие валки чистовой реверсивной клетки 7 ТЛС или клетей 8–12 чистовой непрерывной группы НШС (или ПНШС) выполнены с гладкими бочками.

Способ производства листов и полос прокаткой и технологические методы осуществления.

Заготовку 26 прямоугольного сечения (сляб), разогретую до температуры начала прокатки, задают в рабочие валки 20 и 21 черновой реверсивной клетки 1 ТЛС или ПНШС и подвергают прокатке в реверсивном режиме до получения волнообразного раската 27 с одинаковой по ширине B_0 промежуточной толщиной $h_{пр}$. На НШС эту операцию осуществляют путем последовательной прокатки в клетях 2–6 черновой группы, обеспечивая получение промежуточной толщины $h_{пр}$ волнообразного раската 27 в последней клетке 6 этой группы (см. рис. 1–3).

Прокатку заготовки 26 (сляба) с исходной толщиной H_0 до получения волнообразного раската 27 с промежуточной толщиной $h_{пр}$ ведут только вдоль, что исключает появление боковой, в плане, кривизны кромок и, как следствие, обеспечивает уменьшение боковой обрезки листа или полосы, увеличение выхода годного проката и повышение производительности прокатного стана. При этом в пределах гладких участков бочек рабочих валков 20 и 21 с конусностью β по краям волнообразного калибра имеют место повышенные обжатия боковых кромок шириной B_1 , которые растут в направлениях от продольной оси раската к его краям (см. рис. 4). Это сокращает длины неровных концов («языка» и «хвоста») листа (полосы) за счет увеличения вытяжки боковых кромок раската при его получении в черновой клетке 1 ТЛС (или ПНШС) или черновой группе клетей 2–6 НШС, ведет к уменьшению концевой обрезки и дополнительно увеличивает выход годного проката.

После черновых проходов волнообразный раскат 27 с промежуточной толщиной $h_{пр}$, направляют для разглаживания волн в многороликовой правильной машине 13. Разглаживание волн 28–32 раската 27, преимущественно без обжатия по толщине, ведут последовательно в парах роликов 14–18. В первом варианте (см. рис. 6) реализуется следующая схема: в первой паре роликов 14 разглаживают

центральную (нечетную) волну 28, во второй паре роликов 15 – пару волн 29, смежных центральной волне 28, в третьей паре роликов 16 разглаживают волны 30, в роликах 17 – волны 31, а в роликах 18 разглаживанием пары крайних волн 32 завершается процесс разглаживания волн 28-32 на волнообразном раскате 27. Процесс правки волн в поперечном направлении обеспечивает выход раската на необходимую промежуточную ширину $V_{пр}$ перед прокаткой в реверсивной чистовой клети 7 ТЛС или в клетях 8-12 чистовой непрерывной группы НШС (или ПНШС) до требуемой толщины h_k готового листа или полосы теперь уже в планшетном виде. Во втором варианте (см. рис. 7) используется следующая схема правки: в первой паре роликов 14 разглаживают пару крайних волн 32 у кромок раската 27, во второй паре роликов 15 – вторую пару волн 31, смежных крайним волнам 32, в третьей паре роликов 16 разглаживают пару волн 30, в роликах 17 – пару волн 29, а в роликах 18 процесс правки волнообразного раската 27 завершается разглаживанием центральной (нечетной) волны 28. Как мы уже отметили выше, наряду с процессом разглаживания волн в результате их перегиба в правильной машине 13 протекает процесс удаления вторичной (воздушной) окалины, образующейся на промежуточном рольганге 19, то есть правильная машина 13 дополнительно выполняет функцию окалиноломателя.

При прокатке листа на ТЛС (см. рис. 1) передний конец раската 27, принявший планшетный вид, после выхода из последней пары роликов 18 правильной машины 13, задают в рабочие валки чистовой клети 7 и осуществляют первый проход. При этом скорости вращения пар роликов 14–18 правильной машины 13 и рабочих валков чистовой клети 7 синхронизированы. Перед вторым проходом чистовую клетку 7 реверсируют, а ролики пар 14–18 разводят, обеспечив свободный проход листа. Таким образом, во втором и последующих проходах, до получения необходимой толщины h_k готового листа 33 нижние ролики пар 14–18 правильной машины 13 временно выполняют роль секции промежуточного рольганга 19. Перед поступлением к правильной машине 13 очередного волнообразного раската 27 её ролики 14–18 сводят с учетом значения $h_{пр}$.

При прокатке полосы на НШС (или ПНШС) передний конец раската 27 принявший планшетный вид после выхода из последней пары роликов 18 правильной машины 13, задают последовательно в рабочие валки клетей 8-12 чистовой группы и осуществляют прокатку до необходимой толщины h_k готовой полосы 33. В этом случае синхронизируют скорости вращения пар роликов 14–18 правильной машины 13 и рабочих валков первой клети 8 чистовой группы, а так как направление прокатки не меняется, взаимное положение пар роликов 14-18 правильной машины 13 остается неизменным.

В качестве примера, рассмотрим процесс прокатки стального листа 33 толщиной $h_k = 10$ мм, шириной $B_k = 3200$ мм из сляба 26 толщиной $H_0 = 200$ мм, на двухклетевом толстолистовом стане 2700/3600 (ТЛС2700 / 3600) с длиной бочек рабочих валков в черновой клети 1 $L_{черн}$, равной 2700 мм, а в чистовой клети 7 $L_{чист}$ – равной 3600 мм. Как видно, в нашем случае длина бочек валков черновой клети в 1,33 раза короче, чем в чистовой, что обусловлено возможностью прокатки сляба по новой технологии только лишь вдоль (без разбивки по ширине). Это обстоятельство позволяет уменьшить металлоемкость клети при увеличении ее жесткости, обеспечивает возможность повышения точности прокатки, увеличения разовых обжатий, ведет к снижению энергетических затрат и расхода валков на прокатку.

Диаметры рабочих валков 20 и 21 черновой 1 и чистовой 7 клетей одинаковы и равны 1200 мм. Рабочие валки 20 и 21 черновой клети 1 калиброванные, а чистовой клети 7 – с гладкими бочками.

Для рабочих валков черновой клети 1 принимаем волнообразный калибр с длиной волны), который образуют кольцевые проточки с волнообразными контурами в виде полукругов гребней 22 радиусом $R_{гр} = 25$ мм и впадин 23 радиусом $R_{вп} = (R_{гр} + h_{пр})$, которые чередуются и сочетаются между собой и выполнены на бочках рабочих валков со смещением $(2R_{гр} + h_{пр})$.

Учитывая то, что на двухклетевых ТЛС суммарное обжатие в черновой клети, как правило, составляет около 80 % от общего обжатия на стане, принимаем $h_{пр} = 40$ мм. Таким образом радиус впадин 23 $R_{вп}$, длина волны λ_1 и смещение проточек $\lambda_1 / 2$ равны: $R_{вп} = R_{гр} + h_{пр} = 25 + 40 = 65$ мм; $\lambda_1 = 2(2R_{гр} + h_{пр}) = 2(2 \times 25 + 40) = 180$ мм; $\lambda_1 / 2 = 2R_{гр} + h_{пр} = 2 \times 25 + 40 = 90$ мм.

Радиус нейтральной линии R_n раската 27 толщиной $h_{пр} = 40$ мм составляет: $R_n = R_{гр} + h_{пр} / 2 = 25 + 40/2 = 45$ мм. Для рассматриваемого случая длина нейтральной линии l_n в пределах одной волны равна: $l_n = 2\pi R_n = 2 \times 3,14 \times 45 = 282,6$ мм.

При определении промежуточной ширины $V_{пр}$ раската 27 после выхода из роликов 18 правильной машины 13 учитываем припуск ΔB на традиционную обрезку дефектных кромок, пораженных трещинами вследствие некоторого уширения металла при прокатке листа в чистовой клети 7. Итак, для получения готового листа 33 шириной $B_k = 3200$ мм (после обрезки дефектных кромок):

$$B_{пр} = B_k + \Delta B \quad (1)$$

Приняв $\Delta B = 50$ мм, получаем: $V_{пр} = 3200 + 50 = 3250$ мм.

С учетом ширины B_1 у каждой из двух кромок (см. рис. 4), прокатку которых ведем на гладких участках бочек рабочих валков 20 и 21 с конусностью β , а также четного количества n волн по выступам (гребням) 22 длиной λ_1 с протяженностью l_n нейтральной линии в пределах одной волны, значение промежуточной ширины B_{np} раската 27 после правки можно определить по формуле:

$$B_{np} = 2B_1 + nl_n + 0,5l_n = 2B_1 + l_n \cdot (n + 0,5) \quad (2)$$

При этом, с учетом количества n волн по выступам (гребням) 22, длины волны λ_1 и значения ширины B_1 у каждой из двух кромок, ширину B_0 сляба 1 можно найти из выражения:

$$n = \frac{(B_{np} - 2B_1)}{l_n - 0,5} \quad (3)$$

При этом, с учетом количества n волн по выступам (гребням) 22, длины волны λ_1 и значения ширины B_1 у каждой из двух кромок, ширину B_0 сляба 1 можно найти из выражения:

$$B_0 = 2B_1 + \lambda_1 \cdot (n + 0,5) \quad (4)$$

Предварительно задаемся значением $B_1 = 400$ мм при угле $\beta = 0^\circ 30'$, тогда используя выражение (3), имеем:

$$n = (3250 - 2 \times 400) / 282,6 - 0,5 = 8,17.$$

Принимаем $n = 8$.

С помощью выражения (2), уточняем значение ширины B_1 у кромок:

$$B_1 = [B_{np} - l_n (n + 0,5)] / 2 \quad (5)$$

$$B_1 = [3250 - 282,6 (8 + 0,5)] / 2 = 423,95 \text{ мм.}$$

Принимаем $B_1 = 425$ мм.

Наконец, используя выражение (4), определяем ширину B_0 сляба 1:

$$B_0 = 2 \times 425 + 180 (8 + 0,5) = 2380 \text{ мм.}$$

Таким образом, на основании проведенных расчетов по калибровке валков, а также фабрикации сляба 26 и волнообразного раската 27 устанавливаем, что для получения готового листа 33 шириной $B_k = 3200$ мм необходимо использовать сляб шириной $B_0 = 2380$ мм, из которого в процессе прокатки в черновой клети 1 с использованием калибра с числом волн $n = 8$ длиной $\lambda_1 = 180$ мм в созданных условиях получаем волнообразный раскат 27 толщиной $h_{np} = 40$ мм с гладкими кромками шириной $B_1 = 425$ мм, обработанными на гладких участках бочек рабочих валков 20 и 21 с конусностью $\beta = 0^\circ 30'$. Прокатку в черновой клети 1 осуществляем в реверсивном режиме в пять проходов.

После последнего (пятого) прохода в черновой клети 1 волнообразный раскат 27 подвергаем правке (разглаживанию волн) за один пропуск в роликах 14-18 правильной машины 13, в результате чего раскат приобретает значение промежуточной ширины $B_{np} = 3250$ мм, которая практически соответствует длине его нейтральной (средней) линии. Итак, ширина раската при схеме прокатки только «вдоль» в созданных нами условиях изменилась с 2380 мм до 3250 мм, увеличившись на 36,6 %.

Прокатку листа в чистовой клети 7 до достижения его конечной толщины $h_k = 10$ мм осуществляем в пять проходов.

Режимы обжатий в черновой 1 и чистовой 7 клетях, а также значения изменения ширины в результате правки волнообразного раската 27 в правильной машине 13 приведены в таблице 1.

Таблиця 1

**Режимы обжатий и правки при прокатке листа 10 × 3200 мм из сляба 200 × 2380 мм на
ТЛС 2700/3600**

Клеть, правильная машина	Располо жение раската	Проход	Исходная толщина, мм	Толщина после прохода, * мм	Абсолютное обжатие, мм	Относитель ное обжатие, %	Ширина,** мм
Черновая (1)	Вдоль	1	200	145	55	27,5	2380
Черновая (1)	Вдоль	2	145	105	40	27,6	2380
Черновая (1)	Вдоль	3	105	75	30	28,6	2380
Черновая (1)	Вдоль	4	75	55	20	26,7	2380
Черновая (1)	Вдоль	5	55	40	15	27,3	2380
Правильная машина (13)	Вдоль	1	40	40	0	0	2380
Ролики (14)							2482
Ролики (15)							2674
Ролики (16)							2866
Ролики (17)							3058
Ролики (18)							3250
Чистовая (7)	Вдоль	1	40	28	12	30,0	3250
Чистовая (7)	Вдоль	2	28	20	8	28,6	3250
Чистовая (7)	Вдоль	3	20	15	5	25,0	3250
Чистовая (7)	Вдоль	4	15	12	3	20,0	3250
Чистовая (7)	Вдоль	5	12	10	2	16,7	3250

*Толщина после прохода в черновой клетке 1 указана по расстоянию между вершинами гребней 22 и впадин 23 валков 20 и 21 в процессе прокатки (толщина металла по вершинам волны раската).

**Ширина указана без учета естественного уширения.

Реализация нового способа производства листа на ТЛС позволяет избежать появления кривизны его боковых кромок в плане ввиду отсутствия традиционной операции разбивки сляба 26 по ширине путем его поперечной прокатки в черновой клетке 1 в первых двух-четырех проходах, что дает основание ожидать снижения боковой обрезки листа до 1,0 %, а применение калиброванных валков 20 и 21 черновой клетки 1 с гладкими конусными участками бочек, которые обеспечивают повышенную вытяжку кромок раската, позволит снизить степень выпуклости концов раската и, как следствие, конечную обрезь предположительно на 2,5 ... 3,0%.

Из всего вышеизложенного видно, что реализация способа производства горячекатаного листа или полосы на прокатном стане позволит повысить производительность прокатки, увеличить выход годного проката, снизить капитальные и текущие затраты на его производство.

Выводы

1. В большинстве случаев прокатки широких листов (полос) ширина слябов не соответствует требуемой ширине листа (полосы), что вызывает необходимость применения, особенно на толстолистовых станах, различных схем прокатки, в которые включают операцию «разбивка ширины». Необходимость использования этой операции ограничивает массу сляба, снижает производительность стана, ведет к увеличению боковой обрезки листа (полосы), расхода энергии на прокатку.

2. Предложен новый способ производства листов и полос и варианты прокатных станов для его реализации, обеспечивающие возможность прокатки широких листов и полос из узких слябов без включения в схему прокатки операции разбивки ширины сляба.

3. Реализация нового способа производства листов и полос позволяет:

3.1. Сократить цикл прокатки, использовать слябы длиной больше длины бочек валков черновой клетки, исключить появление выпуклости боковых кромок раската, образующейся при поперечной прокатке сляба, снизить степень выпуклости переднего и заднего концов листа (полосы) и тем самым уменьшить боковую и концевую обрезь, а в итоге увеличить выход годного проката и обеспечить рост производительности станов.

3.2. При прокатке узких слябов только вдоль в черновой клетке (группе клетей) снизить силу прокатки, уровень падения температуры в металле, а следовательно, и расход энергии на прокатку, уменьшить длину бочек валков и металлоемкость черновой клетки (клетей черновой группы) с одновременным увеличением их жесткости, повысить точность прокатки, увеличить разовые обжатия.

3.3. Улучшить деформационную проработку металла по толщине с созданием макросдвиговых деформаций при его поперечном течении в пределах каждой волны волнообразного калибра и тем самым влиять на уровень физико-механических свойств готового проката, снизить степень и даже вероятность появления анизотропии механических свойств листа (полосы), что имеет место при осуществлении традиционной чисто продольной схемы прокатки.

3.4. Облегчить условия удаления печной и вторичной (воздушной) окалины, отказаться от чистового окалиноломателя в составе чистовой группы клетей непрерывного (полунепрерывного) широкополосного стана.

3.5. Уменьшить ширину подводящих рольгангов, а на непрерывных и полунепрерывных широкополосных станах горячей прокатки – межклетевых и промежуточных рольгангов.

3.6. Отказаться от необходимости установки на толстолистовых станах быстродействующих гидравлических нажимных устройств и системы автоматизированного управления формой раскатов в плане.

4. При модернизации действующих станов с целью реализации нового способа производства листов и полос его основные технологические преимущества сохраняются.

Список использованной литературы

1. Коновалов Ю. В. Справочник прокатчика. Справочное издание в 2 к. К. 1. Производство горячекатаных листов и полос. Москва : Теплотехник, 2008. 640 с.
2. Сафьян М. М., Мазур В. Л., Сафьян А. М., Молчанов А. И. Технология процессов прокатки и волочения. Листопркатное производство. Київ : Вища школа, 1988. 351 с.
3. Долженков Ф. Е., Коновалов Ю. В., Носов В. Г. Повышение качества толстых листов. Москва: Металлургия, 1984. 247 с.
4. Антипенко В. Г., Миллер В. В., Остапенко В. М. Уменьшение расхода метала при производстве толстых листов из калиброванных слябов на реверсивных станах. *Производство листа* : темат. отрасл. сб. (МЧМ СССР). Москва : Металлургия, 1973. № 2. С. 39–43.
5. Герцев А. И., Классен Э. Я., Смирнов В. Н. Профилированная прокатка слябов в клетки с вертикальными вальками толстолистового стана. *Сталь*. 1975. № 3. С. 242–244.
6. Бровман М. Я., Зеличенок Б. Ю., Герцев А. И. Усовершенствование технологии прокатки толстых листов. Москва : Металлургия, 1969. 256 с.
7. Хороширов Н. М., Данько В. М., Абакумов В. Г. Разработка и внедрение режимов профилированной прокатки слябов на стане 2800. *Сталь*. 1986. № 2. С. 59–61.
8. Кубота С. Система управления толстолистовым станом. *Сумитомо киндзоку*. 1978. Т. 30. № 14. С. 425–435.
9. Якидзава Т. Новая система автоматического регулирования контура толстого листа при прокатке. *Кавасаки сэйтэцу гихо*. 1979. Т. 11. № 2. С. 168–181.
10. Ватанабэ Х. Способ поперечной прокатки толстых листов с разнотолщинностью. *Тэцу то хаганэ*. 1981. Т. 67. № 15. С. 156–162.
11. Хирай Н. Увеличение выхода годного при прокатке толстого листа. *Тэцу то хаганэ*. 1981. Т. 67. № 15. С. 14–28.
12. Носов В. Г., Булянда А. А., Остапенко А. Л. Рациональная технология производства горячекатаных листов и полос. Киев : Техника, 1992. 137 с.
13. Коновалов Ю. В., Фурман Ю. В., Носов В. Г. Разработка и опробование нового способа улучшения формы раскатов в плане на листовых станах. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1988. № 4. С. 28–29.
14. Руденко Е. А., Юрьев О. М., Забира Л. А. Определение параметра управления при прокатке листов с профилированием широких граней раската при реверсивной прокатке. *Металл и литье Украины*. 2006. № 11-12. С. 26–28.
15. Morel M., Montastier J.G., Brenot M.A., Chalond M. F. Qualite control and production optimization in plate mills HYDROPLATE system. *Iron and Steel Engineer*. 1984. V. 61. P. 48–53.
16. Артамонова Е. А. Производство толстых листов высокого качества: Обзорная информация (Серия: Прокатное производство). *Институт «Черметинформация»*. Москва. 1987. Вып. 3. 24 с.
17. Быков Ю. А., Карпухин С. Д. Способы получения конструкционных наноматериалов. Часть 1. *Наноинженерия*. 2012. № 6. С. 11–19.
18. Колесников А. Г., Шинкарев А. С. Анализ способов измельчения структуры при получении металлических материалов. *Наука и Образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. Журн*. 2014. № 11. С. 34–44. DOI: 10.7463/1114.0738880.
19. Сегал В. М., Резников В. И., Копылов В. И., Павлик Д. А., Малышев В. Ф. Процессы пластического структурообразования металлов. Минск : Наука и техника, 1994. 232 с.

20. Глезер А. М. Основные направления использования нанотехнологий в металлургии. *Металлург.* 2010. № 1. С. 5–7.
21. Бейгельзимер Я. Е., Варюхин В. Н., Орлов Д. В., Сынков С. Г. Винтовая экструзия – процесс накопления деформации. Донецк : ТЕАН, 2003. 87 с.
22. Галкин Д. П., Картушов Б. П., Потапов И. Н. и др. Способ получения листового проката: патент 624665 СССР: МПК В21В 1/39; заявл. 01.06.1977; опубл. 25.09.1978, Бюл. № 35.
23. Колпаков С. В., Полухин П. И., Воронцов В. К. и др. Способ прокатки: патент 869871 СССР: МПК В21В 1/22; заявл. 18.01.1980; опубл. 07.10.1981, Бюл. № 37.
24. Долженков Ф. Е., Остапенко А. Л., Коновалов Ю. В. И др. Способ получения толстых листов: патент 939140 СССР: МПК В21В 1/39; заявл. 04.08.1980; опубл. 30.06.1982, Бюл. № 24.
25. Картушов Б. П., Курятников А. В., Потапов И. Н. и др. Способ производства листового проката: патент 719716 СССР: МПК В21В 1/38; заявл. 10.05.1978; опубл. 05.03.1980, Бюл. № 9.
26. Трайно А. И. Способ прокатки толстолистовой стали: патент 2441721 Российская Федерация: МПК В21В 1/38; заявл. 06.10.2010; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 4.
27. Роганов М. Л. Роганов Л. Л. Спосіб одержання литтям-прокаткою листів (штаб) шириною більшою від довжини бочки обтискуючих валків: деклараційний патент 67475 Україна: МПК В21В 1/02, В21В 1/00; заявл. 06.10.2003; опубл. 15.06.2004, Бюл. № 6/2004.

References

1. Konovalov YU. V. Spravochnik prokatchika. Spravochnoye izdaniye v 2 k. K. 1. Proizvodstvo goryachekatanykh listov i polos. Moskva : Teplotekhnika, 2008. 640 p.
2. Saf'yan M. M., Mazur V. L., Saf'yan A. M., Molchanov A. I. Tekhnologiya protsessov prokatki i volocheniya. Listoprokatnoye proizvodstvo. Ki'iv : Vishcha shkola, 1988. 351 p.
3. Dolzhenkov F. Ye., Konovalov YU. V., Nosov V. G. Povysheniye kachestva tolstykh listov. Moskva: Metallurgiya, 1984. 247 p.
4. Antipenko V. G., Miller V. V., Ostapenko V. M. Umen'sheniye raskhoda metala pri proizvodstve tolstykh listov iz kalibrovannykh slyabov na reversivnykh stanakh. Proizvodstvo lista : temat. otrasl. sb. (MCHM SSSR). Moskva : Metallurgiya, 1973. № 2. pp. 39–43.
5. Gertsev A. I., Klassen E. YA., Smirnov V. N. Profilirovannaya prokatka slyabov v kleti s vertikal'nymi valkami tolstolistovogo stana. Stal'. 1975. № 3. pp. 242–244.
6. Brovman M. YA., Zelichenok B. YU., Gertsev A. I. Usovershenstvovaniye tekhnologii prokatki tolstykh listov. Moskva : Metallurgiya, 1969. 256 p.
7. Khoroshirov N. M., Dan'ko V. M., Abakumov V. G. Razrabotka i vnedreniye rezhimov profilirovannoy prokatki slyabov na stane 2800. Stal'. 1986. № 2. pp. 59–61.
8. Kubota S. Sistema upravleniya tolstolistovym stanom. Sumitomo kindzoku. 1978. T. 30. № 14. pp. 425–435.
9. Yakidzava T. Novaya sistema avtomaticheskogo regulirovaniya kontura tolstogo lista pri prokatke. Kawasaki seyetsu gikho. 1979. T. 11. № 2. pp. 168–181.
10. Vatanabe KH. Sposob poperechnoy prokatki tolstykh listov s raznotolshchinnost'yu. Tetsu to khagane. 1981. T. 67. № 15. pp. 156–162.
11. Khirai N. Uvelicheniye vykhoda godnogo pri prokatke tolstogo lista. Tetsu to khagane. 1981. T. 67. № 15. pp. 14–28.
12. Nosov V. G., Bulyanda A. A., Ostapenko A. L. Ratsional'naya tekhnologiya proizvodstva goryachekatanykh listov i polos. Kiyev : Tekhnika, 1992. 137p.
13. Konovalov YU. V., Furman YU. V., Nosov V. G. Razrabotka i oprobvaniye novogo sposoba uluchsheniya formy raskatov v plane na listovykh stanakh. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 1988. № 4. pp. 28–29.
14. Rudenko Ye. A., Yur'yev O. M., Zabira L. A. Opredeleniye parametra upravleniya pri prokatke listov s profilirovaniyem shirokikh graney raskata pri reversivnoy prokatke. Metall i lit'ye Ukrainy. 2006. № 11-12. pp. 26–28.
15. Morel M., Montastier J.G., Vrenot M.A., Chalond M. F. Qualite control and production optimization in plate mills HYDROPLATE system. Iron and Steel Engineer. 1984. V. 61. P. 48–53.
16. Artamonova Ye. A. Proizvodstvo tolstykh listov vysokogo kachestva: Obzornaya informatsiya (Seriya: Prokatnoye proizvodstvo). Institut «Chermetinformatsiya». Moskva. 1987. Vyp. 3. 24 p.
17. Bykov YU. A., Karpukhin S. D. Sposoby polucheniya konstruktsionnykh nanomaterialov. Chast' 1. Nanoinzheneriya. 2012. № 6. pp. 11–19.
18. Kolesnikov A. G., Shinkarev A. S. Analiz sposobov izmel'cheniya struktury pri poluchenii metallicheskikh materialov. Nauka i Obrazovaniye. MGTU im. N. E. Bauman. Elektron. Zhurn. 2014. № 11. p. 34–44. DOI: 10.7463/1114.0738880.

19. Segal V. M., Reznikov V. I., Kopylov V. I., Pavlik D. A., Malyshev V. F. Protsessy plasticheskogo strukturoobrazovaniya metallov. Minsk : Nauka i tekhnika, 1994. 232 p.
20. Glezer A. M. Osnovnyye napravleniya ispol'zovaniya nanotekhnologiy v metallurgii. Metallurg. 2010. № 1. pp. 5–7.
21. Beygel'zimer YA. Ye., Varyukhin V. N., Orlov D. V., Synkov S. G. Vintovaya ekstruziya – protsess nakopleniya deformatsii. Donetsk : TEAN, 2003. 87 p.
22. Galkin D. P., Kartushov B. P., Potapov I. N. i dr. Sposob polucheniya listovogo prokata: patent 624665 SSSR: MPK V21V 1/39; zayavl. 01.06.1977; opubl. 25.09.1978, Byul. № 35.
23. Kolpakov S. V., Polukhin P. I., Vorontsov V. K. i dr. Sposob prokatki: patent 869871 SSSR: MPK V21V 1/22; zayavl. 18.01.1980; opubl. 07.10.1981, Byul. № 37.
24. Dolzhenkov F. Ye., Ostapenko A. L., Konovalov YU. V. I dr. Sposob polucheniya tolstykh listov: patent 939140 SSSR: MPK V21V 1/39; zayavl. 04.08.1980; opubl. 30.06.1982, Byul. № 24.
25. Kartushov B. P., Kuryatnikov A. V., Potapov I. N. i dr. Sposob proizvodstva listovogo prokata: patent 719716 SSSR: MPK V21V 1/38; zayavl. 10.05.1978; opubl. 05.03.1980, Byul. № 9.
26. Trayno A. I. Sposob prokatki tolstolistiovoy stali: patent 2441721 Rossiyskaya Federatsiya: MPK V21V 1/38; zayavl. 06.10.2010; opubl. 10.02.2012, Byul. № 4.
27. Roganov M. L. Roganov L. L. Sposib oderzhannya littyam-prokatkoyu listiv (shtab) shirinoyu bil'shoyu vid dozhini bochki obtiskuyuchikh valkiv: deklaratsiyiny patent 67475 Ukraїna: MPK V21V 1/02, V21V 1/00; zayavl. 06.10.2003; opubl. 15.06.2004, Byul. № 6/2004.