

## Современные способы уменьшения концевой обрезки раскатов на широкополосных станах горячей прокатки

**В** настоящее время в мировой практике почти половину всего металла разливают на УНРС [1]. Применение на широкополосных станах горячей прокатки непрерывнолитых слябов обеспечивает низкий расходный коэффициент металла по сравнению с технологией, осуществляемой по схеме слиток — сляб, при которой даже в лучшем случае потери металла с концевой обрезью составляют 3—10% [2].

Эффективность работы УНРС зависит непосредственно от количества типоразмеров слябов. Вместе с тем, сокращение типоразмеров слябов путем унифицирования размеров по ширине приводит к необходимости дополнительного их редуцирования, например, в линии стана. Это вызывает значительный рост концевой обрезки на раскатах из-за интенсивной концевой вытяжки, приводящей к дефектам типа «рыбий хвост» [3]. По данным фирмы «Син ниппон сэйтзцу», Япония, в условиях стана 1840 при обжатиях по ширине до 350 мм длина одного концевого наката превышает 600 мм. В этом случае при массе сляба 26 т концевая обрезь составит 1,5% [4].

С целью сокращения потерь металла с концевой обрезью и приближения формы раскатов в плане к прямоугольной применяют различные технологические мероприятия, по управлению формой непрерывнолитых слябов. Основные из них условно можно сгруппировать следующим образом: формирование концов, боковых кромок и поперечного сечения слябов, а также оптимизация режимов обжатий в вертикальных и горизонтальных валах [5]. Часть из этих мероприятий может быть реализована в линии существующих УНРС при оснащении их прессами или редуцирующими станами. Другая часть — в линиях станов, имеющих в черновой группе клетей пресс для обжатия боковых кромок, а также универсальную реверсивную клеть со специально спрофилированными вертикальными и горизонтальными валами [6].

### Влияние формы поперечного сечения слябов на величину концевых дефектов

Проведенные за последние годы исследования показали, что велика зависимость величины обрезки от формы слябов (рис. 1) [7—10]. Вогнутый профиль широкой грани сляба может обеспечить снижение концевой обрезки раскатов при малых (до 2—3%) величинах обжатий по ширине. При больших деформациях по ширине сля-

бов, имевших исходный вогнутый профиль (см. рис. 1, а) поперечного сечения, в условиях Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК) были получены концевые накаты типа «рыбий хвост» следующей протяженности  $N$  в зависимости от конечной толщины  $H$  полосы [7]: при  $H=6$  мм  $N=450—470$  мм; при  $H=10$  мм  $N=180—227$  мм.

Исследования, выполненные Донецким политехническим институтом по использованию слябов с выпуклой большой гранью (см. рис. 1, б, в, г) при последовательной прокатке в условиях широкополосного стана горячей прокатки, выявили значительную эффективность этого решения. При оптимальных параметрах выпуклости (табл. 1) концевая обрезь уменьшилась по сравнению с прокаткой слябов прямоугольного профиля на 65% [8].

На современных УНРС возможна отливка слябов как вогнутой, так и выпуклой формы поперечного сечения, а также слябов с локально расположенной выпуклостью (вогнутостью) на широкой грани сляба [7, 9, 10]. Оптимальными величинами выпуклости слябов считают  $0,04 \leq (H-H_0)/H_0 \leq 0,30$  [8] и  $0,70 \leq H/H_0 \leq 0,96$  [10]. При локальной выпуклости слябов (см. рис. 1, в) оптимальные пределы протяженности выпуклого участка составляют  $0,30 \leq B/B_0 \leq 0,60$  [10]. Этот вывод совпадает с результатами, приведенными в табл. 1.

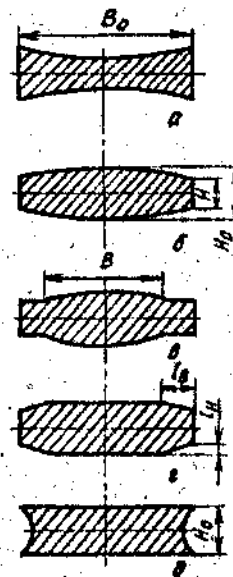


Рис. 1. Непрямоугольные поперечные профили непрерывнолитых слябов

Таблица 1. Результаты прокатки с обжатиями по ширине выпуклых слэбов (см. рис. 1, з)

Параметры выпуклости		Снижение концевой обрезки (%) по сравнению с прямоугольными слэбами при различных обжатиях по ширине $B_0$ , %		
$2l_n/H_0$	$(B_0 - 2l_n)/B_0$	8	16	24
0,117	0,530	60	25	19
0,117	0,368	46	29	20
0,210	0,530	66	41	31
0,210	0,368	42	65	48

По данным японских исследователей, использование слэбов с выпуклым профилем поперечного сечения при следующих параметрах скосов на широких и узких гранях слэба, мм:  $10 \leq l_n \leq 40$  и  $100 \leq l_n \leq 400$  (см. рис. 1, з) соответственно, позволяет увеличить выход годного на 0,3—0,4 % в результате снижения концевых дефектов [11].

На заводе фирмы «Син ниппон сэйтэцу» в Оите, Япония, проведены исследования по оптимизации размеров скосов на боковых гранях слэба (см. рис. 1, з) для получения минимальной концевой обрезки. Получена следующая формула для расчета размеров скоса:

$$l_n/l_n > R/(R - 0,5 \cdot \Delta E),$$

где  $l_n$  — длина скоса;  $l_n$  — высота скоса;  $R$  — радиус бочки вертикального вала;  $\Delta E$  — обжатие боковых граней слэба за проход [12].

Эта же фирма предлагает боковые грани слэба выполнять вогнутыми (см. рис. 1, д), что должно снизить их растрескивание при прокате в черновой группе клетей стана благодаря уменьшению растягивающих напряжений. По мнению фирмы, это снижает прикромочную обрезку и в целом расходный коэффициент металла [13]. Фирма «Ниппон кокан», Япония, предлагает вогнутую форму боковых граней слэбов, поступающих с УНРС, создавать путем их обжатия калиброванными валами малого диаметра, причем ручей калибра должен иметь выпуклое дно [14].

Эффективность применения слэбов с выпуклым поперечным сечением (см. рис. 1, б, в, з) заключается в том, что при последующей прокатке в вертикальных и горизонтальных валах уменьшается величина дефектов типа «собачья кость», или они исчезают полностью. Эффективность обжатия по ширине в этом случае обеспечивается благодаря уменьшению вынужденного уширения при прокатке в горизонтальных валах. Это позволяет снизить суммарное обжатие по ширине и длину дефекта «рыбий хвост». Кроме того, сокращается также кромочная обрезка готовых полос в результате их меньшей разноширинности [9].

Недостатком рассмотренных способов влияния

на величину концевых дефектов является то, что для их осуществления требуется широкий выбор кристаллизаторов, обеспечивающих отливку слэбов с необходимыми параметрами выпуклости или вогнутости для каждого режима обжатия по ширине.

### Формирование концов слэбов

Управление формой концов слэбов позволяет уменьшить концевую обрезку на 85% [5]. Наиболее характерными являются три способа формирования концов слэбов: в процессе резания выходящего из УНРС слэба [15—17], путем пресования [6, 18] и переменного обжатия при прокатке в вертикальных валах [19].

Фирмой «Син ниппон сэйтэцу», Япония, предложено в процессе резания выходящего из УНРС слэба передний торец его в направлении прокатки делать вогнутым, а задний — выпуклым (рис. 2, а), использовать такой слэб при прокатке с повышенными (более 50 мм) обжатиями по ширине [15].

В условиях непрерывного стана 1700 горячей прокатки Карагандинского металлургического комбината (КарМК) выполнены исследования, направленные на определение расхода металла с концевой обрезкой при V-образном резе слэба (рис. 2, б). При исходной толщине слэбов 160—230 мм, длине реза 30—40 мм и максимальном обжатии по ширине до 50 мм снижение расхода металла составляет 2—3% [16].

Тенденция применения больших обжатий слэбов по ширине, в результате которых накаты на задних участках больше, чем на передних в 1,3—1,6 раза, обусловили эффективность задачи слэба в валки вогнутой частью вперед. Это обеспечивает снижение концевой обрезки до 1,5 раз.

Фирма «Ниппон кокан», Япония, предлагает огневую резку слэба осуществлять таким образом, чтобы плоскость реза была наклонена в

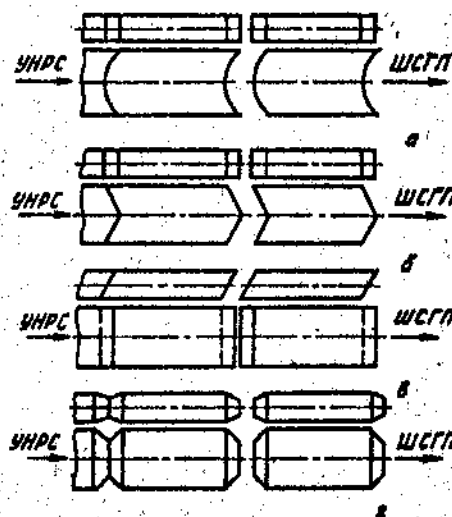


Рис. 2. Условные схемы профильного формирования торцов слэбов в линии УНРС огневой резкой (а, б, в) и пресованием (д)

сторону направления прокатки; а сам сляб в продольном сечении имел форму параллелограмма с наклоненной вперед торцевой гранью (рис. 2, е) [17].

Резка углов слябов позволяет снизить потерю металла с обрезью на величину до 70 % [5], однако с учетом потерь металла на обрезь при профилировании концов сляба эффективность такого способа значительно ниже [20].

Предварительное обжатие непрерывнолитого сляба в линии УНРС до резки его на заданные длины, предлагаемое фирмой «Кавасаки сэйтэцу», Япония, направлено также на снижение величины концевой дефекта типа «рыбий хвост» при прокатке (рис. 2, з). При этом предполагается, что обжатие может осуществляться по узким и широким гралям специально спрофилированными бойками пресса [18].

Более эффективным является дополнительное боковое обжатие концов разрезанных слябов в линии стана [5, 21]. С этой целью большинство разработчиков (фирмы «Хитати сэйсакусэ», «Анти сэйко», обе Япония, и др.) предлагают использовать гидравлические прессы [22, 23].

Целесообразно рассмотреть очаг деформации в процессе самого формирования концов сляба (рис. 3). Для бокового обжатия концов слябов характерны два типа очага деформации: открытый (см. рис. 3, а, б, д) и закрытый (см. рис. 3, в, г, е). Для таких способов деформации характерно формирование выпуклого торца сляба в виде «языка», что при величине последующего обжатия сляба по ширине вертикальными вальками, начиная с 2—3 %, позволяет компенсировать дефекты типа «рыбий хвост». Величины обжатия зависят от ряда факторов, определяющих из которых может служить отношение ширины  $B$  сляба к его толщине  $H$ . В частности, при отношении  $B/H=1,6$  оптимальные параметры профилирования при закрытом очаге деформации (см. рис. 3, е) следующие:  $l_p=240$  мм,  $\Delta B_p=140$  мм при постоянном радиусе бойка  $R=750$  мм [21].

При отношениях  $B/H$  большего порядка ( $4 \leq B/H \leq 10$ ), по предложению фирмы «Кавасаки сэйтэцу», Япония, углубления следует фор-

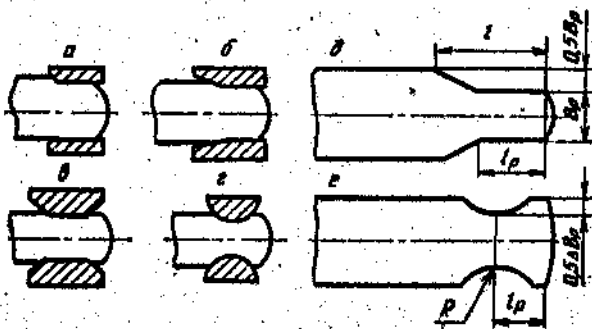


Рис. 3. Основные формы бойков (а, б, в, г) и параметры профилирования (д, е) концов слябов на прессе

Таблица 2. Оптимальные параметры профилирования концов сляба на прессе ( $\Delta B=450$  мм,  $H_0 \times B_0=230 \times 1270$  мм, см. рис. 1 и 3)

$\frac{B_0 - B_p}{\Delta B}$	Относительные потери с обрезью* при различных значениях $l_p/B_0$			
	0,3	0,4	0,5	0,6
0,9	+0,65	+1,14	+1,20	+1,43
0,7	-0,57	-0,68	-0,36	+0,63
0,5	Нет св.	Нет св.	-0,54	-0,41

\* С плюсом — концевой макет типа «язык», с минусом — типа «рыбий хвост».

мировать на переднем и заднем участках полосы на расстоянии  $50 \leq l_p \leq 500$  мм от торца, а величину углубления определять дифференцированно так, чтобы на переднем участке она составила  $\Delta B_p=0,05-0,20$ , а на заднем участке  $\Delta B_p=0,25-0,50$  (см. рис. 3, е). При этом  $\Delta B_p = B_0 + \Delta B_y - B_p (H_0/H_p)$ , где  $B_0$  и  $H_0$  — исходная ширина и толщина полосы соответственно;  $B_p$  и  $H_p$  — то же, конечная;  $\Delta B_y$  — величина уширения, соответствующая полному обжатию до получения окончательного размера проката [24].

Установлено, что оптимальные параметры ограничены следующими величинами:  $0 \leq l_p/B_0 \leq 0,5$ ;  $10^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$ ;  $0,3 < l_p/B_0$ ,  $0,4 \leq \Delta B_p/\Delta B \leq 1,1$  [25], здесь  $\theta$  — угол наклона конусной части бойка (см. рис. 3, д). Так, при использовании бойков пресса с боковыми фланцами с углом их выпуска  $12^\circ$  и шириной дна 220 мм для обжатия слябов сечением  $220 \times 1270$  мм на величину  $\Delta B \leq 450$  мм выявлено, что оптимальными параметрами профилирования являются следующие:  $l_p/B_0=0,5$  и  $(B_0 - B_p)/\Delta B=0,7$  (табл. 2). В промышленных условиях подобная схема профилирования слябов сечением  $220 \times 1600$  мм позволяет снизить концевую обрезь в 6 раз [5].

При выборе параметров профилирования концов слябов (степень обжатия по ширине, профиль бойка, протяженность и глубина участка формирования концов сляба) приходится учитывать характер формообразования концевых дефектов, изменяющихся от «рыбьего хвоста» до «языка» и наоборот (рис. 4) [5].

Японская фирма «Кавасаки сэйтэцу» рекомендует в случае предварительного обжатия на прессе с коническими бойками с последующим обжатием по ширине до 200 мм использовать соотношение  $0 \leq l_p/B_0 \leq 0,5$ . Для максимального уменьшения величины дефекта типа «язык» при предварительном формировании концов слябов следует соблюдать условие  $0 \leq l_p/l \leq 1$  (см. рис. 3, д). В этом случае результаты не зависят от степени изменения ширины сляба при прокатке [26].

Фирма «Син ниппон сэйтэцу», Япония, предлагает подготовку концов сляба осуществлять в

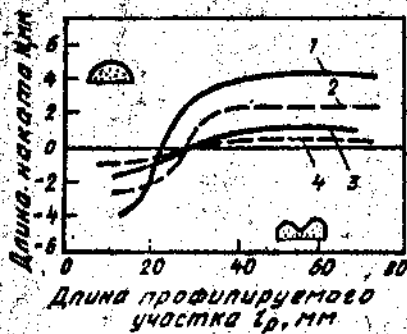


Рис. 4. Зависимость длины концевой накатки от протяженности профилируемого участка  $l_p$  и его глубины  $\Delta B_p$ : 1 —  $\Delta B_p = 12,0$  мм; 2 —  $\Delta B_p = 8,9$  мм; 3 —  $\Delta B_p = 4,5$  мм; 4 —  $\Delta B_p = 2,6$  мм

устройстве, состоящем из двух профилированных валков, перемещающихся поперек полосы в специальных направляющих от гидропривода. При этом сляб фиксируется гидроприжимами, а боковое обжатие концов осуществляется скошенными под заданным углом валками [27]. Эта же фирма предлагает углы торцов сляба обжимать в вертикальных валках (см. рис. 3, г). При этом определяющим параметром считается длина дуги контакта  $l_g$  валка при обжатии сляба, определяемая выражением

$$L_g = L_p + \sqrt{L_p^2 + R_b \cdot \Delta B},$$

а обжатие сляба по ширине находится из зависимости  $\Delta B = L_p^2 / R_b$ , где  $R_b$  — радиус бочки вертикального валка,  $L_p$  — расстояние между бочками вертикальных валков [19]. Кроме того, снижение концевой обрезки может быть получено наклоном сляба относительно уровня прокатки при его заходе в первую горизонтальную клетку [28].

Недостатком формирования концов слябов прессованием и в вертикальных валках является то, что параметры инструмента определяют форму, придаваемую концам сляба. Это затрудняет получение оптимальных параметров профилирования концов слябов, наиболее точно соответствующих режимам обжатий слябов в черновой группе клетей стана горячей прокатки.

#### Технология и оборудование для редуцирования слябов

Такие зарубежные фирмы, как «Mannesmann-Demag Sack» («Манесман-Демаг Зак»), ФРГ, и «Син ниппон сэйтэцу», Япония, предлагают устанавливать за УНРС обжимную группу клетей [29]. С целью унификации типоразмеров непрерывнолитых слябов по ширине фирма «Исикавадзима-Харима дзюкогё», Япония, разработала установку для прокатки непрерывнолитых слябов за УНРС. Установка включает клетку с горизонтальными валками, имеющими боковые фланцы, а также клетки с вертикальными калиброванными валками и следующую за ними клетку с цилиндрическими валками [30].

На заводе фирмы «Син ниппон сэйтэцу» в Оите, Япония, на редуцирующем стане, установленном за УНРС, непрерывнолитые слябы обжимают по ширине за несколько проходов более чем на 1000 мм [31]. В соответствии с технологией, которую целесообразно использовать при больших объемах производства, слябы длиной до 60 м, обжатые по ширине до 1150 мм (150 мм за один проход), подогревают в печи на 100–150 °С, инспектируют, режут на ножницах и загружают в нагревательные печи стана при температуре 700–750 °С. Диаметр вертикальных валков редуцирующего стана 1600 мм, максимально допустимые усилия прокатки 16 МН.

Эффективность редуцирования слябов непосредственно за УНРС обусловлена тем, что деформации в вертикальных валках подвергаются непорезанные слябы. Однако реализация такой технологии связана со значительными капитальными затратами на установку редуцирующего стана, нагревательной печи, ножниц, инспекционного стана и транспортного оборудования.

Для обжатия слябов по ширине в линии широкополосных станов горячей прокатки применяют прессы и вертикальные валки. При прессовании не образуются концевые накатки типа «рыбий хвост», возникающие при обжатии слябов по ширине в вертикальных валках. Использование прессы для редуцирования слябов по всей длине обеспечивает уменьшение концевой обрезки на 60% [5, 32–35].

Фирмой «Исикавадзима-Харима дзюкогё» предложен следующий способ обжатия слябов по ширине. Сляб подается к прессу для обжатия по всей длине. Затем он пропускается через вертикальные валки для ломки и удаления окалины. Далее концы сляба обжимают на прессе [32]. Для предотвращения потери устойчивости и выпучивания сляба при обжатии его боковых граней величина подачи за один ход плит горизонтального прессы выбрана небольшой, меньше длины калибрующего участка плиты [33].

На металлургическом заводе фирмы «Кавасаки сэйтэцу» в Мидзусиме, Япония, освоено пресс для обжатия по ширине непрерывнолитых слябов. Максимальное обжатие по ширине до 300 мм, усилие прессования 25 МН, мощность привода 3300 кВт. Амплитуда колебания обжимных головок по 100 мм с каждой стороны, частота колебаний 1,43 с<sup>-1</sup>. Кроме сокращения обрезки на 40%, в результате применения прессы значительно повысилась точность размеров сляба по ширине [34].

Существенное увеличение производительности горизонтального прессы, установленного в черновой группе клетей полосового стана горячей прокатки, обеспечено благодаря установке вибраторов гидравлического типа между подпятниками нажимных винтов и плитами прессы

[35]. Вибраторы сообщают плитам пресса колебания с амплитудой 1 мм, частотой колебаний 10 с<sup>-1</sup>. Слябы толщиной до 300 мм обжимаются по ширине на 300 мм. Длина рабочего участка плиты пресса (длина зоны деформации) 1500 мм. Скорость перемещения сляба при прессовании 0,2 м/с. С помощью пресса получают из слябов одного типоразмера заготовки шириной от 900 до 2000 мм. Он обеспечивает более глубокую проработку сляба по ширине, чем вертикальная клетка с валками диам. 1200—2000 мм.

Увеличение скорости перемещения сляба при прессовании приводит к появлению на его поверхности следов, для устранения которых после пресса устанавливают универсальную клетку [36].

Разработан агрегат, совмещающий прокатную клетку и горизонтальный пресс. Вертикальные валки установлены на одном конце двуплечего рычага, пуансоны — на другом. Сначала пуансоны обжимают передний конец сляба, затем рычаг поворачивается, отводя пуансоны в нерабочее положение, а валки входят в контакт с боковыми гранями сляба и обжимают их по всей длине, за исключением заднего конца. Задний конец после очередного поворота рычага обжимается между пуансонами [37].

Разработаны и опробованы разнообразные режимы прокатки в клетках черновой группы, способствующие уменьшению накатов типа «рыбий хвост» и концевой обреза [5, 38—45]. Дополнительная эффективность этих разработок заключается в том, что их реализация не требует затрат на новое оборудование.

В поиске оптимальных режимов прокатки прослеживаются следующие основные направления: совершенствование способов обжатия утолщенных кромок раскатов, полученных после прокатки в вертикальных валках; деформация по длине раската с переменным обжатием по ширине; оптимальное распределение обжатия в горизонтальных и вертикальных валках по проходам; совершенствование деформационных режимов в универсальных клетках (включая прокатку с подпором).

Фирмой «Син ниппон сэйтэцу», Япония, предложено после прокатки слябов в вертикальных валках в последующих горизонтальных валках обжимать только утолщенные края слябов. В зависимости от размеров сляба производят несколько реверсивных проходов до получения раската требуемых размеров. Такое обжатие утолщенных кромок дает возможность уменьшить суммарное обжатие по ширине и в результате этого снизить концевую обрезь на 10%, а также сократить машинное время прокатки [38].

Оснащение вертикальных клетей черновой группы широкополосных станов гидравлическими нажимными устройствами [6] позволяет реализовать прокатку с переменными обжатия-

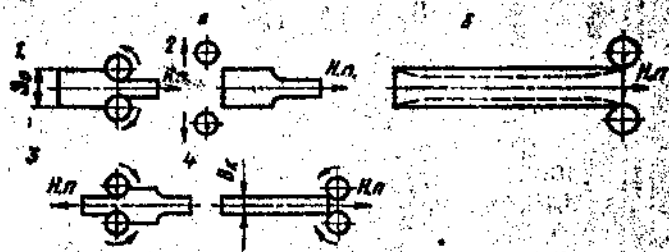


Рис. 6. Схема реализации методов промежуточного недоката (а) и профилированной прокатки (б): 1—6 — последовательность операций; Н. п. — направление прокатки

ми по ширине раската, используя метод промежуточного недоката (рис. 5, а) [5], в соответствии с которым вначале производят обжатие по ширине переднего участка раската, прекращая его на некотором расстоянии от заднего участка. После этого вертикальные валки разводят и пропускают раскат без дальнейшего обжатия по ширине. Затем раскат задают в вертикальные валки обратной его стороной с обжатием до требуемой ширины. В последнем проходе раскат калибруют по ширине. Рассматриваемый способ наиболее эффективен при установке в универсальной реверсивной клетке вертикальных валков по обе стороны от горизонтальных. В первом проходе передний конец сляба после прокатки в первой паре вертикальных валков приобретает ступенчатую форму в плане, после прокатки во второй паре ступенчатая форма переднего конца сохраняется при изменении длины ступеней. Во втором проходе задний конец сляба обжимают при постоянной величине межвалкового зазора в вертикальных валках. Реализация этого способа фирмой «Син ниппон сэйтэцу», Япония, показала, что при различных обжатиях переднего и заднего участков раската концевая обрезь снижается на 25% [39]. Этой же фирмой предложено в момент захвата раската вертикальными валками давать обжатие больше расчетного на некоторой начальной длине, а после реверсирования валков прокатывать раскат с расчетным обжатием по ширине, что способствует снижению концевой обреза на 10—15% [40].

Снижение концевой обреза достигается при переменном обжатии (максимальное обжатие до 150 мм) по ширине раската (профильная прокатка) [41]. В первом проходе в вертикальных валках на переднем участке раската величину обжатия по ширине изменяют от нуля на торце сляба до требуемой величины на определенной длине от торца. На заднем конце сляба обжатие по ширине вновь уменьшается до нуля (рис. 5, б) [42]. Значительное сокращение концевой обреза обеспечивает оптимальное распределение обжатия в горизонтальных и вертикальных валках по проходам. Фирма «Сумитомо киндзоку когэ» предлагает обжатие сляба в горизонтальных и вертикальных валках в каждом проходе осуществлять по условию  $H = \alpha B^n$ ,



где  $H$  и  $B$  — заданные толщина и ширина в данном проходе;  $\alpha$  и  $n$  — коэффициенты. В соответствии с приведенным условием рассчитывают наменения сечения в каждом проходе отдельно для клетей с вертикальными и горизонтальными валками [43].

Проведенные исследования показали, что решающее влияние на снижение концевой обреза оказывает режим обжатий [5, 6]. При прокатке в реверсивной черновой клетке фирма «Кавасаки Сайтэцу», Япония, предложила суммарное обжатие во всех прямых проходах выдерживать меньшим, чем во всех обратных. Это обеспечивает выравнивание торцов на раскатах и снижение обреза [44]. При прокатке в вертикальных валках рекомендовано дважды осуществлять обжатие сляба по ширине в одном направлении, при этом заданное обжатие по ширине в первом и втором проходах устанавливать так, чтобы уменьшение ширины переднего конца бокката в первом проходе совпадало с заданной величиной обжатия по ширине во втором проходе [45].

На заводе фирмы «Синнипон Сайтэцу», Япония, непрерывнолитые слябы сечением  $280 \times 1800$  мм обжимают до размеров  $250 \times 750$ — $1800$  мм в универсальной реверсивной клетке с двумя парами вертикальных и одной парой горизонтальных валков между ними. При этом концевая обрезь минимальна, если в начальных проходах обжатие по ширине уменьшено, а в последних увеличено [46].

Французская фирма SOLLAC (СОЛЛАК), применяет подобный принцип лишь до начала обжатия сляба по толщине, обеспечивая суммарное обжатие по ширине до 220 мм [47].

С уменьшением исходной ширины сляба влияние режима обжатий на величину концевой обреза снижается. При большой ширине исходного сляба наименьшие величины концевой накаты наблюдаются в том случае, когда преимущественное редуцирование осуществляют в последних проходах [5]. Исследования шведских и финских специалистов показывают, что при перераспределении обжатий по ширине с первых проходов к последующим уменьшается дефект типа «рыбий хвост» (рис. 6), однако увеличивается разношириность полосы. Это также приводит к изгибу раската, если обжатия по ширине превышают половину толщины сляба. На рис. 6 а приведены предложенный I и традиционный II режимы распределения обжатий по ширине  $\Delta B$ . При обжатии слябов по предложенному режиму II длина концевой накаты  $N$  типа «рыбий хвост» уменьшилась со 100—240 до 50—45 мм (см. рис. 6, б). На полосах шириной 400 мм длина концевой обреза снизилась с 250 до 180 мм и осталась неизменной на полосах шириной 1000 мм (см. рис. 6, в) [41, 42].

Эффективным способом снижения концевой обреза является прокатка с подпором. Предло-

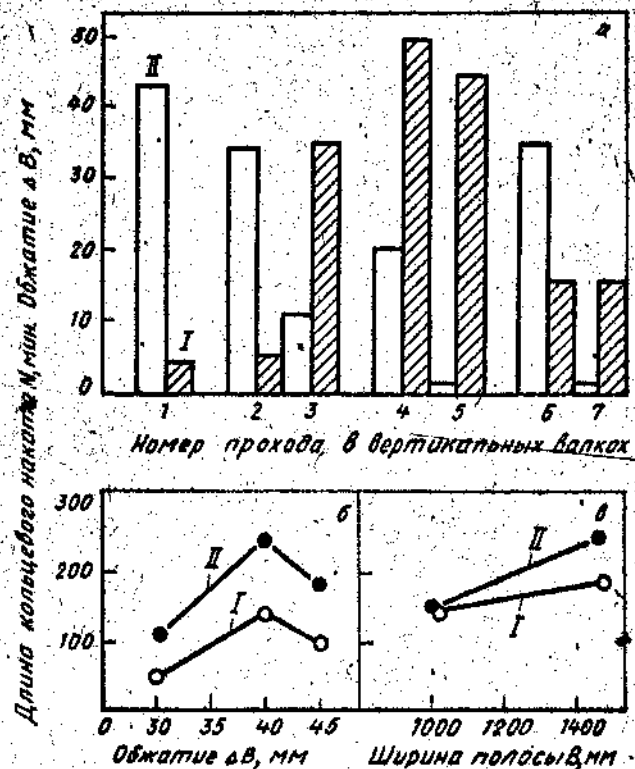


Рис. 6. Влияние перераспределения обжатий по ширине (а) на величину концевой обреза в зависимости от суммарного обжатия (б) и ширины полосы (в): I, II — режимы обжатий по ширине

жено при одновременной прокатке в вертикальных и горизонтальных валках задний конец раската обжимать в вертикальных валках с уменьшением разности скоростей вращения последующей и предыдущей пар валков по сравнению с прокаткой остальной части раската [48]. Изменение разности скоростей вращения валков приводит к появлению усилия, сжимающего раскат между вертикальными и горизонтальными валками, а наличие продольных сжимающих напряжений в раскате приводит к росту величины приконтактного уширения в вертикальных валках и, как следствие, к сокращению величины концевых накатов. По данным японских исследований, максимальное сокращение концевой обреза при реализации этого способа составляет 50% и наблюдается, когда напряжения сжатия в полосе между клетями достигают примерно 0,1 величины сопротивления деформации [5].

Значительным резервом снижения концевой обреза является устранение асимметрии концевых накатов, т. е. различной вытяжки по левой и правой кромкам. Исследование ее причин показало, что форма концов раската существенно зависит от распределения температур по объему слябов [49]. Из-за конструктивных особенностей нагревательных печей, установленных в линии станов горячей прокатки, обеспечить равномерный нагрев по кромкам сляба затруднительно. Для компенсации неравномерности нагрева с

ный таким образом, что угол выпуска калибра, формирующего кромку раската со стороны нижней грани, составляет  $3-12^\circ$ , а со стороны верхней грани —  $77-88^\circ$  [48]. В другом случае предлагают использовать вертикальный валок с ящичными калибрами, глубина и ширина которых уменьшается к нижнему краю валка (см. рис. 8, ж). Глубина калибра уменьшается на  $0,006-0,028$  радиуса бочки валка [80].

Для предотвращения поперечного изгиба раската при обжатии его боковых граней глубина участка с параллельными стенками калибра ящичного типа равна или несколько больше толщины сляба перед его задачей в валки, а ширина калибра равна толщине сляба. Параллельные стенки калибра удерживают сляб от прогиба в вертикальной плоскости. Между параллельными стенками калибра и бочкой валка предусмотрены наклонные участки для захвата и направления в калибр переднего конца сляба (см. рис. 8, з). [81]. Подобного типа калибры, помимо обеспечения устойчивости слябов в очаге деформации, дают возможность уменьшить отходы металла с обрезью из-за дефектов типа «рыбий хвост», формируя поперечный профиль сляба со смещением утолщений высотой  $20-60$  мм на расстоянии  $100-400$  мм от боковой кромки сляба [82].

Эффективность обжатия слябов по ширине во многом зависит от соответствия размеров калибра вертикального валка размерам обжимаемого сляба. Предложен вертикальный валок, имеющий гладкую бочку, на которую с обоих концов надевают втулки. Внутренние поверхности конических участков втулок свободно вращаются. Одну из втулок можно свободно перемещать вдоль оси валка, что обеспечивает регулирование размеров калибра в соответствии с толщиной сляба. Использование такого валка по сравнению с обычным способствует значительному повышению выхода годного [83].

Помимо использования калиброванных вертикальных валков снижение концевой обрезки может быть получено и в результате применения профилированных горизонтальных валков. Использование горизонтальных валков с выпуклой бочкой позволяет благодаря перераспределению вытяжек по ширине раската компенсировать длину дефекта «рыбий хвост», образовавшегося после редуцирования [84].

В общем случае для снижения концевой обрезки могут использоваться как вогнутые, так и выпуклые горизонтальные валки (рис. 9). Для уменьшения длины образующихся дефектов «рыбий хвост» японская фирма «Сумитомо киндзо когэ» применяет вогнутые валки (см. рис. 9, а) [85]. Эффект от применения вогнутых валков аналогичен использованию непрерывнолитых выпуклых слябов [11].

Сочетание преимуществ двух профилировок для снижения концевой обрезки предлагает ис-

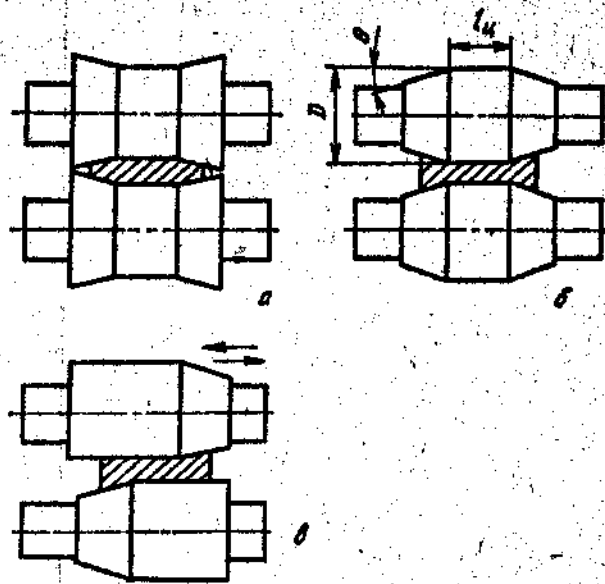


Рис. 9. Схемы очага деформации, реализуемые при использовании основных типов профилированных горизонтальных валков

пользовать фирма «Ниппон кокан». После прокатки в горизонтальных валках с вогнутой бочкой (до  $1$  мм на диаметр) раскат обжимают в горизонтальных валках с выпуклой бочкой. Это позволяет устранить непрямоугольность полос в плане и повысить выход годного на  $1\%$  [86].

Однако большинство разработчиков в отечественной и зарубежной практике отдают предпочтение горизонтальным валкам с выпуклой бочкой. Так, на КарМК для получения на концевых участках раскатов выпуклости типа «язык» применяли валок с величиной выпуклости  $0,5-1,5\%$  от диаметра бочки на ее среднем участке протяженностью  $1/3-3/4$  длины бочки валка [87]. Выпуклость бочки горизонтальных валков выполняется не только плавной кривой [84, 87], но также и в виде трапециевидных утолщений на среднем участке бочки (см. рис. 9, б).

Эффективность применения выпуклых профилировок была исследована японскими учеными [5, 6]. При прокатке свинцовых образцов толщиной  $H_0=25$  мм и шириной  $B_0=120-150$  мм в валках с трапециевидным утолщением длиной  $l_n=40-80$  мм, отношением диаметра валка  $D$  к длине утолщения  $D/l_n=1,2-3,6$  и углом боковых скосов  $\theta=5-15^\circ$  (см. рис. 9, б) наблюдалось снижение обрезки до  $30\%$  от величины обрезки при прокатке в цилиндрических валках (рис. 10). Параметры выпуклых валков, соответствующие обозначениям на рис. 10, приведены в табл. 3.

Как следует из рис. 10, оптимальными параметрами выпуклости валков являются отношение  $D/l_n=1,2$  при  $l_n=80$  мм и  $D/l_n=1,8$  при  $l_n=60$  мм. В обоих случаях  $\theta=15^\circ$ . Вместе с тем необходимо отметить решающее значение величины относительного обжатия в горизон-

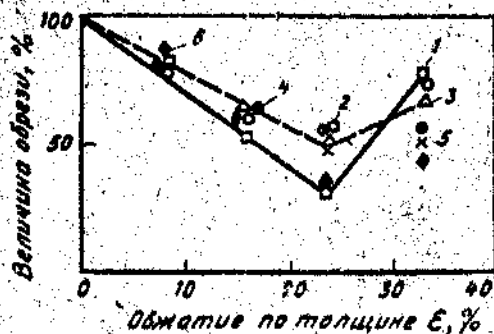


рис. 10. Зависимость величины потери металла в обрезь от условий прокатки с увеличенной вытяжкой посредине слэба. 1-6 — параметры прокатки (см. табл. 3).

альных валков. При относительном обжатии 23—25% наблюдается снижение потерь на конечную обрезь в 2—3 раза.

После прокатки в выпуклых валках раскатывают в цилиндрические горизонтальные валки для прокатки на окончательный размер [88]. Создание клетей с осевым перемещением горизонтальных валков позволило существенно упростить их профилировки. Например, каждый из валков комплекта, обеспечивающий получение закатов с вогнутой средней частью и утолщенными кромками, выполнен с коническими участками, противоположными относительно друг друга палка и сопряженными с цилиндрическими средними участками бочки [89]. При этом конусные участки могут быть выполнены криволинейными (см. рис. 9, а) [90]. Преимущество осевого смещения рабочих валков с профилированными коническими участками на концах заключается в том, что величина участка на раскате с выпуклым профилем может быть переменной и, следовательно, с применением одного комплекта валков обеспечиваются оптимальные условия для минимизации конечной обрезь в пределах всего сортамента стана.

Известны профилировки горизонтальных валков черновых клетей широкополосных станов, выполненные в виде кольцевых ручьев. Первоначальное их использование в клетях горизонтального окалинوماتеля непрерывного стана 700 КарМК определялось снижением дефектов типа «вкатаная окалина» [91]. Снижению конечной обрезь способствовала дальнейшая мо-

Таблица 3. Параметры прокатки образцов в выпуклых валках

$t_{ц}$ , мм	$D/t_{ц}$	$\theta$ , град.	$H_0 \times B_0$ , мм	См. позиция на рис. 10
80	1,2	15	25 × 150	1
40	3,6	15	25 × 150	2
60	1,8	15	25 × 150	3
60	1,8	5	25 × 120	4
60	1,8	15	25 × 120	5
60	1,2	15	25 × 150	6

дернизация подобных профилировок, когда пара валков образует комплект рабочих валков, ручьи которых собраны таким образом, что гребни ручья одного валка выполнены напротив днищ ручья другого валка, образуя в результате обжатия раската волнообразный поперечный профиль с выпуклой образующей [92]. При применении такой профилировки горизонтальных валков было установлено снижение величины уширения, что потребовало увеличения исходной ширины слэбов на 20 мм при максимальном обжатии по ширине до 30 мм. Другой тип профилировок с кольцевыми ручьями, глубины которых увеличиваются к торцу бочки, образует в результате обжатия раската волнообразный с вогнутой серединой профиль поперечного сечения [93]. При использовании горизонтальных валков с кольцевыми ручьями и вогнутой общей образующей сочетаются два достоинства: утяжка по ширине раската за счет волнообразного профиля и компенсация дефекта типа «рыбий хвост» дефектом типа «язык».

### Управление резом

Немаловажную роль в снижении конечной обрезь обеспечивает совершенствование систем автоматического реза концевых участков раската в линии стана путем применения более точных датчиков контроля их формы и ЭВМ, позволяющих определить оптимальное место реза по длине раската и выработать сигнал на его резку в зависимости от конфигурации концевого участка. Фирма «Thyssen AG» («Тиссен АГ»), ФРГ, разработала систему оптимального реза переднего конца полосы на ходе в чистовую группу стана [94, 95].

Ширина раската по его длине измеряется фотодиодной камерой, сигналы которой мини-ЭВМ обрабатывает и представляет в виде чертежа формы конца раската. В состав технических средств системы входит еще одна камера с фотодиодами, подающая стартовый сигнал для начала измерений и работы ЭВМ. Одновременно на мини-ЭВМ рассчитывают оптимальное место реза, которое воспроизводится на дисплее пульта оператора ножниц и передается в систему управления ножницами. В зависимости от формы головной части раската ЭВМ выдает рекомендации по длине срезаемой части. С внедрением системы на широкополосном стане завода Брукхаузен, ФРГ, доля обрезь передних концов уменьшилась почти в 1,5 раза (с 0,44 до 0,30%), что при годовом производстве полос на стане, равном 2,5 млн. т, способствовало экономии около 8500 т металла.

На заводе фирмы «Ниппон кокан» в Фукуяме, Япония, для автоматического определения формы переднего и заднего концов листов используются две телевизионные камеры и процессор для обработки и анализа телевизионных



сигналов. Процессор рассчитывает оптимальное расстояние линии реза до переднего конца, в результате чего уменьшены потери металла с обрезью [96].

Фирмой «Кавасаки сэйтэцу», Япония, разработано лазерно-оптическое устройство, содержащее вращающееся зеркало, лазерные генераторы, фокусирующие линзы. При повороте зеркала происходит сканирование лучами по ширине полосы. На дисплее получают изображение формы конца полосы. Средняя величина обрезей при автоматической резке «рыбьих хвостов» с использованием такого устройства уменьшилась на 45 мм [97].

### Выводы

1. Для уменьшения концевой обрезей раскатов на широкополосных станах горячей прокатки наиболее широкое применение получили методы предварительного профилирования слябов и оптимизации режимов обжатий при использовании специальных профилировок вертикальных и горизонтальных валков.
2. Формирование выпуклого поперечного профиля сляба в кристаллизаторе УНРС дает возможность снизить концевую обрезь в 2—3 раза, а профилирование его торцов огнем резом — в 1,5 раза.
3. Управление формой концевых накатов в линии широкополосных станов горячей прокатки путем предварительного профилирования концов сляба с помощью прессы способствует снижению концевой обрезей в 6—7 раз. При использовании профилированных горизонтальных валков концевая обрезь уменьшается в 2 раза, а в результате применения вертикальных валков большего диаметра или с калибрами — в 1,5 раза. При этом вертикальные валки должны обеспечивать устойчивость раската в очаге деформации.
4. При оптимизации режимов обжатий в клетях черновой группы наиболее эффективными являются прокатка с подпором и способ промежуточного недоката, в 2 раза снижающие концевую обрезь на раскатах. Рациональное распределение обжатий по ширине и толщине слябов (раскатов) по проходам уменьшает обрезь в 1,5—2 раза. Прокатка с изменяющейся величиной обжатия вертикальными валками по длине сляба и применение технологических смазок снижает концевую обрезь в 1,2—1,3 раза.
5. Компоновка черновой группы широкополосных станов горячей прокатки, включающая реверсивные клетки с парой вертикальных и двумя парами горизонтальных или парой горизонтальных и двумя парами вертикальных валков снижает в 2 раза объем концевой обрезей.
6. В результате автоматизации реза концов раската при использовании систем управления на базе мини-ЭВМ потери металла на обрезь уменьшаются в 1,5 раза.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. World Steel Statistics — 1985 // Iron and Steel Engineer. 1985. V. 62. № 12. P. 53, 54.
2. Stalberg U., Göransson A. Front and Back End Crop — Losses in Slab Ingot Rolling // Journal of Mechanical Working Technology. 1985. V. 12. № 2. P. 215—232.
3. Коновалов Ю. В., Руденко Е. А., Кужель А. К. Исследование динамики формоизменения концов раскатов в черновой группе клетей современного широкополосного стана // Metallургическая и горно-рудная промышленность. 1987. № 2. С. 31, 32.
4. Описание широкополосного стана горячей прокатки завода фирмы «Син ниппон сэйтэцу» в Хирохате // Тэцу то хаганэ. 1985. Т. 71. № 11. С. 1138.
5. Абэ Х. Методы уменьшения обрезей при редуцировании слябов в черновой группе широкополосного стана горячей прокатки // Сосэй то како. 1984. Т. 25. № 2. С. 87—92.
6. Тасоэ Н., Ходзэ Ц. Оборудование для редуцирования непрерывнолитых слябов в технологической линии широкополосного стана горячей прокатки // То же. С. 93, 99.
7. Прокатки непрерывнолитых слябов с волнистыми широкими гранями / А. И. Целиков, А. В. Вугоров, А. К. Грузанов и др. // Черная металлургия: Вул. ин-та «Черметинформация». 1984. Вып. 4. С. 53, 54.
8. Клименко В. М., Орнатский Э. А., Тореллик В. С. Снижение торцевой обрезей при прокатке непрерывнолитых слябов // Теория и практика производства широкополосной стали: Тематич. отраслевой сб. М., 1979. № 4. С. 5, 6.
9. Заявка 61-50045 Японии, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 1/46.
10. А. с. 399256 СССР, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 1/44.
11. Заявка 53-12257 Японии, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 1/02.
12. Такада К. Усовершенствованные технологии прокатки боковых граней слябов в вертикальных валках. III. Испытание безотходной технологии на работающем стане // Тэцу то хаганэ. 1986. Т. 72. № 4. С. 325.
13. Заявка 60-56561 Японии, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 1/02.
14. Заявка 58-107913 Японии, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 1/02.
15. Заявка 57-39841 Японии, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 1/02.
16. Расход металла при прокатке слябов с фигурной передней крошкой / В. В. Веревен, С. А. Братусь, П. Я. Скичко и др. // Теория и практика производства широкополосной стали: Тематич. отраслевой сб. М., 1981. № 5. С. 17—19.
17. Заявка 56-119605 Японии, МКИ<sup>3</sup> В 21 В 1/22.
18. Заявка 59-40521 Японии, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 1/02.
19. Заявка 58-32501 Японии, МКИ<sup>3</sup> В 21 В 1/22.
20. Заявка 55-36023 Японии, МКИ<sup>3</sup> В 21 В 15/00.
21. Improvement of Billet Rolling Yield by Press Preforming of Strand Cast Bloom // Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan. 1986. V. 26. № 10. P. 922.
22. Заявка 61-74710 Японии, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 15/00.
23. Заявка 59-58922 Японии, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 1/02.
24. Заявка 59-37121 Японии, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 1/02.
25. Заявка 58-215202 Японии, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 1/02.
26. Заявка 60-206501 Японии, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 1/02.
27. Заявка 59-218201 Японии, МКИ<sup>3</sup> В 21 В 1/22.
28. Заявка 54-62152 Японии, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 1/02.
29. Полосовые станы горячей прокатки: Каталог / Фирма «Маннесман-Демаг Зак». ФРГ, 1986.
30. Заявка 61-10201 Японии, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 1/02.
31. Сафонова М. К. Зарубежные широкополосные станы горячей прокатки. М., 1986 (Обзор. информ. Сер. Прокатное производство. Вып. 6. 34 с.).
32. Заявка 62-84801 Японии, МКИ В 21 В 1/02.
33. Заявка 62-84803 Японии, МКИ В 21 В 1/02.
34. Фудживара К. Рационализация производства холлокатаний полос. IV. Освоение прессы для обжатия по ширине слябов // Тэцу то хаганэ. 1987. Т. 73. № 12. С. 1099.
35. Пат. 4578983 США, МКИ В 21 / 7/14.
36. Заявка 60-141301 Японии, МКИ<sup>4</sup> В 21 В 1/02.

37. Пат. 4502311 США, МКИ В 21 В 15/00.
38. Заявка 61-60202 Японии, МКИ В 21 В 1/02.
39. Такада К. Черновая прокатка слэба в вертикальных валах с гидравлическими нажимными устройствами. II. Разработка нового способа эджерной прокатки с увеличенным выходом годного // Тэцу то хаганэ. 1985. Т. 71. № 12. С. 1145.
40. Заявка 61-37302 Японии, МКИ В 21 В 1/22.
41. Pera J. O., Pietola R., Sjögren U. Optimal Width Reductions in Hot-Strip Mills // Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan. 1986. V. 26. № 3. P. 206—211.
42. Pera J. O., Pietola R., Sjögren U. Optimisation de la reduction der largeur sur trains à bandes à chaud // Revue de Metallurg. 1986. V. 83. № 10. P. 781—787.
43. Пат. 57-42403 Японии, МКИ В 21 В 37/00.
44. Заявка 61-226101 Японии, МКИ В 21 В 1/26.
45. Заявка 61-21721 Японии, МКИ В 21 В 1/22.
46. Такада К. Разработка эффективного метода распределения обжатий по проходам в прокатном стане с вертикальными клетями // Тэцу то хаганэ. 1985. Т. 71. № 5. С. 321.
47. Pianche R. Necessary Mill Equipment Modernisation. 19-th Annual Meetings and Conference, London 6—9 oct. 1985 // Report of Proceedings. Brussels. 1986. P. 166—172.
48. А. с. 990352 СССР, МКИ В 21 В 1/38.
49. Чупров В. Б., Хлопонин В. Н., Орбцов В. В. Влияние распределения температуры по объему слэбов на конфигурацию концов подкатов // Изв. вузов: Черная металлургия. 1986. № 4. С. 153.
50. А. с. 1260049 СССР, МКИ В 21 В 1/38.
51. Повышение выхода годного при производстве толстого листа на реверсивных станах / Ю. В. Коновалов, Ю. В. Фурман, Н. И. Попов и др. // Сталь. 1985. № 10. С. 54, 55.
52. А. с. 1176981 СССР, МКИ В 21 В 1/26.
53. Чупров В. Б., Хлопонин В. Н., Ермолаев В. Г. Формонизменение концевых участков слэбов при прокатке в черновой группе клетей широкополосного стана // Изв. вуз.: Черная металлургия. 1986. № 5. С. 150.
54. А. с. 1176987 СССР, МКИ В 21 В 37/00.
55. А. с. 1243851 СССР, МКИ В 21 В 1/38.
56. Strandell P. O. Critical Considerations on Rolling in a Triplet Mill // International Conference Steel Rolling. Tokyo. 1980. P. 599—610.
57. Werner E. W. A New Economical Concept for Producing Hot-Strip and Plate // Iron and Steel Engineer. 1981. V. 58. № 9. P. 25—36.
58. Kokado J., Hattai N., Takada H. Untersuchungen über das Horizontalwalzen des hundeknochenförmigen Walzgutes und über das mehrstufige Walzen für die Breitenabnahme der Brammen // Members of Faculty Engineering Kyoto University. 1985. Bd 47. S. 114—129.
59. Заявка 57-124511 Японии, МКИ В 21 В 37/00.
60. Хашимотэ Т. Эффект прокатки с низкой скоростью при больших обжатиях слэба по ширине / Тэцу то хаганэ. 1987. Т. 73. № 12. С. 1103.
61. Заявка 56-114501 Японии, МКИ В 21 В 1/02.
62. Заявка 61-162214 Японии, МКИ В 21 В 1/38.
63. Заявка 61-165209 Японии, МКИ В 21 В 13/06.
64. Заявка 60-76203 Японии, МКИ В 21 В 1/22.
65. Заявка 60-21104 Японии, МКИ В 21 В 1/02.
66. Заявка 60-133906 Японии, МКИ В 21 В 1/26.
67. Заявка 60-96303 Японии, МКИ В 21 В 1/22.
68. Заявка 60-127005 Японии, МКИ В 21 В 1/02.
69. Аяно Т. Предотвращение изгиба проката посредством наклона эджерных валков // Тэцу то хаганэ. 1986. Т. 72. № 12. С. 1230.
70. Заявка 60-162508 Японии, МКИ В 21 В 1/22.
71. Заявка 61-147902 Японии, МКИ В 21 В 1/22.
72. Заявка 58-86902 Японии, МКИ В 21 В 1/26.
73. Заявка 61-162201 Японии, МКИ В 21 В 1/02.
74. Заявка 61-3561 Японии, МКИ В 21 В 1/02.
75. Nouvelle technique d'obtention de fortes reductions de largeur des brames / T. Aritzumi, M. Okado, Y. Fujita et al. // Revue de Metallurgie. 1985. V. 82. № 5. P. 421—429.
76. Заявка 60-64707 Японии, МКИ В 21 В 1/22.
77. А. с. 1251983 СССР, МКИ В 21 В 1/22.
78. А. с. 1091954 СССР, МКИ В 21 В 27/02.
79. А. с. 755350 СССР, МКИ В 21 В 27/02.
80. А. с. 1163925 СССР, МКИ В 21 В 27/02.
81. Заявка 59-202105 Японии, МКИ В 21 В 27/02.
82. Заявка 55-46762 Японии, МКИ В 21 В 1/02.
83. Заявка 58-6709 Японии, МКИ В 21 В 13/06.
84. А. с. 708203 СССР, МКИ В 21 В 27/02.
85. Заявка 53-12257 Японии, МКИ В 21 В 1/02.
86. Заявка 55-178808 Японии, МКИ В 21 В 1/38.
87. А. с. 984522 СССР, МКИ В 21 В 27/02.
88. Заявка 2175228 Великобритании, МКИ В 21 В 1/02.
89. Заявка 60-12122 Японии, МКИ В 21 В 1/26.
90. А. с. 1122382 СССР, МКИ В 21 В 27/02.
91. Валки с кольцевыми проточками / А. Л. Остапенко, О. Н. Сосковец, И. Ю. Анохина и др. // Металлург. 1985. № 6. С. 39, 40.
92. А. с. 1349815 СССР, МКИ В 21 В 27/02.
93. А. с. 1328016 СССР, МКИ В 21 В 27/02.
94. Meuters Friedrich. Minimierung des Schopfschrottes durch den Einsatz von Kleinrechnern in der Messtechnik // Stahl und Eisen. 1983. Bd 103. № 7. S. 47—52.
95. Meuters Friedrich. Einsatz von Kleinrechnern für die Mess- und Regeltechnik zur Verminderung des Schopfschrottanteils an einer Warmbreitbandstrasse // Thyssen Technischer. 1983. Bd 15. № 1. S. 68, 78.
96. Ишизака Р. Разработка оборудования для автоматического определения формы переднего и заднего концов толстого джста и нанесения разметочной линии для ножниц поперечной резки // Тэцу то хаганэ. 1986. Т. 72. № 12. С. 1123.
97. Юзава Х. Разработка устройства для определения формы конца полос // Там же. С. 1162.