

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.771.237

[https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3\(58\)-47-55](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3(58)-47-55)

Шитов М.В., Соловьев А.Г., Румянцев М.И.

УНИФИКАЦИЯ РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИИ В ЧЕРНОВОЙ ГРУППЕ ШСГП ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БОКОВОГО ОБЖАТИЯ СЛЯБОВ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ВАЛКАМИ

Аннотация. Для производства горячекатаных полос на широкополосных станах горячей прокатки (ШСГП) является актуальной задача уменьшения числа типоразмеров литых слябов по ширине. Анализом обжимной способности по толщине и ширине шестиклетевой черновой группы широкополосного стана горячей прокатки третьего поколения выявлен резерв для увеличения обжатия сляба по толщине и ограниченные возможности для обжатия по ширине. Для изучения процесса формоизменения сляба в черновой группе применили конечно-элементное моделирование с помощью программного комплекса Deform. По результатам конечно-элементного моделирования построили регрессионные зависимости ширины и концевой обрезки раскатов от вариантов распределения поперечной и высотной деформации по клетям. Указанные зависимости применили для оптимизации режимов деформации по критерию максимального уменьшения ширины сляба, а также по критерию минимальной концевой обрезки раскатов заданной ширины. В результате поиска оптимальных решений установили, что для увеличения редуцирующей способности черновой группы по ширине сляба целесообразно заменить в первой и второй универсальных клетях вертикальные валки с гладкой бочкой на валки с ящичными калибрами, аналогичные валкам отдельностоящего вертикального окатиноломателя, а также перераспределить обжатия по толщине. Предложены унифицированные режимы обжатия слябов по толщине и ширине в черновой группе, которые позволяют уменьшить количество типоразмеров слябов, разливаемых на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), а также снизить количество концевой обрезки на ШСГП, что способствует повышению энергоэффективности системы «МНЛЗ-ШСГП» в целом.

Ключевые слова: система «МНЛЗ-ШСГП», ширина сляба, черновая группа ШСГП, обжатие по ширине, обжатие по толщине, концевая обрезка раската, унифицированные режимы деформации

Введение

Для широкополосных станов горячей прокатки первого и второго поколения в системе «слябинг – ШСГП» необходимое разнообразие ширины слябов обеспечивалось на обжимных станах, а задача черновой группы ШСГП состояла в снятии естественного уширения при прокатке и в устранении бочкообразности боковых граней раската. В некоторых случаях в черновой группе решалась и обратная задача – увеличение ширины сляба путём поперечной прокатки в уширительной клетке, что было возможно из-за малой длины сляба до 2–3 м [1, 2].

С переходом на непрерывнолитые слябы проблема обеспечения заданной ширины раскатов обострилась. Большое количество типоразмеров слябов снижает производительность машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), а их малое количество требует мощной черновой группы ШСГП для возможности редуцирования сляба по ширине, а также создает предпосылки для увеличения концевой обрезки раскатов. Вместе с тем возможность производить обжатие сляба по ширине в широких пределах позволяет не только ограничить количество типоразмеров слябов, но также способствует снижению прерывности прокатки за счет формирования больших монтажных партий. Поэтому поиск решений, направленных на увеличение обжатий по ширине в черновой группе ШСГП остается актуальной задачей, которая должна решаться в направлении повышения энергоэффектив-

ности и снижения потерь металла в обрезь при ограничениях, налагаемых составом и техническими возможностями существующего оборудования [3, 4].

Цели исследования – анализ обжимной способности черновой группы ШСГП третьего поколения и оценка возможности повышения ее редуцирующей способности по ширине за счет унификации режимов обжатия раската.

Методика исследования

Рассматривали черновую группу ШСГП третьего поколения, компоновка которой приведена на рис. 1.

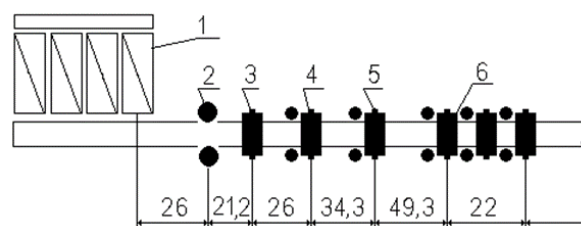


Рис. 1. Черновая группа ШСГП третьего поколения:

- 1 – нагревательные печи; 2 – отдельностоящая вертикальная клетка; 3 – горизонтальная клетка дуо;
- 4 и 5 – отдельно стоящие универсальные клетки кварто; 6 – непрерывная группа клеток, состоящая из трёх универсальных клеток кварто

Формоизменение раската моделировали с использованием программного продукта Deform 3D V6.1. При этом были приняты следующие допущения: процесс – стационарный, симметричный и изотермический; валки – несжимаемые; материал полосы – одно-

родный и изотропный; деформируемая среда – вязко-пластическая. В качестве материала была выбрана сталь марки AISI–1016, что соответствует отечественным маркам сталей 15, 15Г, 15пс, 15кп. Скорость прокатки составляла 0,8–5 м/с.

Рассматривали слябы шириной 1150, 1500, 1850 мм и варианты бокового обжатия как валками с гладкой бочкой, так и валками с ящичными калибрами. Обжатие по ширине вертикальными валками с калибрами варьировали в диапазоне 20–120 мм с шагом 20 мм при толщинах сляба 250, 200 и 150 мм. Обжатие по ширине для вертикальных валков с гладкой бочкой варьировало в диапазоне 20–60 мм с шагом 20 мм при толщинах сляба 250, 200, 150 и 100 мм. Во всех случаях обжатие по толщине задавалось от 0 до 60 мм с шагом 10 мм.

Все компьютерные опыты проводились с замерами геометрических параметров, таких как ширина, высота наплывов, глубины проникновения пластической деформации, стрелы вогнутости переднего и заднего торцов раската, утяжки ширины переднего и заднего концов раската, длины утянутого по ширине переднего и заднего концов раската, что позволило также прогнозировать концевую обрезь.

Из полученных результатов формоизменения раската при последовательном обжатии в вертикальных и горизонтальных валках методом множественного регрессионного анализа с помощью пакета «Анализ данных» Microsoft Excel были получены эмпирические формулы (1)–(4) отдельно при прокатке в калиброванных валках и в валках с гладкой бочкой. Так, конечная ширина и обрезь раската в паре «вертикальные – горизонтальные валки» отображаются следующими формулами:

$$b_i = \Delta h_i \cdot a_1 + \Delta h_i^2 \cdot a_2 + \Delta b_{ei} / b_{i-1} \cdot a_3 + h_{i-1} / b_{i-1} \cdot a_4 + h_{i-1} \cdot a_5 + b_{i-2} \cdot a_6 + \Delta b_{ei} \cdot a_7; \quad (1)$$

$$q_i = \Delta h_i \cdot a_8 + \Delta h_i^2 \cdot a_9 + \Delta b_{ei} / b_{i-1} \cdot a_{10} + h_{i-1} / b_{i-1} \cdot a_{11} + h_{i-1} \cdot a_{12} + b_{i-2} \cdot a_{13} + \Delta b_{ei} \cdot a_{14}, \quad (2)$$

где b_i – ширина раската, мм; q_i – масса концевой обрезь, кг; Δh_i – обжатие по толщине, мм; Δb_{ei} – обжатие по ширине, мм; b_{i-1} – ширина раската перед прокаткой в горизонтальной клети, мм; b_{i-2} – ширина раската перед прокаткой в вертикальной клети, мм; h_{i-1} – толщина раската перед прокаткой в горизонтальной клети, мм; $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}$ – коэффициенты регрессии.

Количество обрезь при последующих проходах определялось по следующим формулам:

$$q_i = k_i \cdot q_{i-1}, \quad (3)$$

$$k_i = \Delta h_{i-1} \cdot a_{15} + \Delta h_i \cdot a_{16} + (\Delta h_{i-1} + \Delta h_i) \cdot a_{17} + \Delta h_{i-1} / \Delta b_{ei-1} \cdot a_{18} + \Delta h_i / \Delta b_{ei} \cdot a_{19} + \Delta b_{ei-1} / \Delta b_{ei} \cdot a_{20} + \Delta b_{ei} \cdot a_{21} + (\Delta b_{ei-1} + \Delta b_{ei}) \cdot a_{22} + h_{i-1} / b_{i-1} \cdot a_{23} + h_i / b_i \cdot a_{24} + h_{i-1} \cdot a_{25} + h_i \cdot a_{26} + b_{i-1} \cdot a_{27} + b_i \cdot a_{28}, \quad (4)$$

где k_i – коэффициент обрезь; h_i/b_i – отношение толщины и ширины раската перед прокаткой в i -й паре «вертикальные – горизонтальные валки»; $a_{15} \dots a_{28}$ – коэффициенты регрессии, значения которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значение коэффициентов и оценки надежности уравнений (1), (2), (4)

Коэффициент	Значение	Коэффициент	Значение	Коэффициент	Значение	Коэффициент	Значение
При обжатии в вертикальных калиброванных валках							
a_1	0,0126	a_8	-4,565	a_{15}	0,01072	a_{25}	-0,0036
a_2	0,0024	a_9	0,0218	a_{16}	0	a_{26}	-0,0003
a_3	-543	a_{10}	-11267	a_{17}	-0,0031	a_{27}	0,0051
a_4	171	a_{11}	-390,5	a_{18}	-0,1158	a_{28}	-0,0045
a_5	-0,2008	a_{12}	1,2983	a_{19}	-0,0424	R^2	0,9998
a_6	1,0217	a_{13}	-0,0612	a_{20}	-0,0518	F	2503
a_7	-0,4216	a_{14}	12,47	a_{21}	0,0098	P, %	95
R^{2*}	0,9999	R^2	0,9743	a_{22}	-0,0054		
F^{**}	958366	F	422	a_{23}	-0,7618		
$P^{***}, \%$	95	P, %	95	a_{24}	7,6070		
При обжатии в вертикальных валках с гладкой бочкой							
a_1	0,0337	a_8	-2,750	a_{15}	-5,135·10 ¹²	a_{25}	0,3507
a_2	0,00216	a_9	0,0044	a_{16}	-5,135·10 ¹²	a_{26}	0,2899
a_3	-881	a_{10}	-13291	a_{17}	-5,135·10 ¹²	a_{27}	-0,0077
a_4	137	a_{11}	6624	a_{18}	53,455	a_{28}	-0,0447
a_5	-0,1204	a_{12}	-8,7932	a_{19}	0	R^2	0,9999
a_6	1,0102	a_{13}	0,7749	a_{20}	0	F	1973
a_7	0,0176	a_{14}	13,80	a_{21}	-0,8943	P, %	95
R^2	0,9999	R^2	0,9728	a_{22}	0,1800		
F	211221	F	312	a_{23}	0		
P, %	95	P, %	95	a_{24}	-352,3		

Примечание. R^2 – коэффициент детерминации, F – рассчитанное число Фишера, P – уровень надёжности.

С использованием уравнений (1)–(4) решалась задача оптимизации: получение раската с минимальной шириной и получение минимальной массы концевой обрезки при заданной конечной ширине раската. Применили метод обобщённого приведённого градиента (ОПГ), реализованный при помощи надстройки «Поиск решения» Microsoft Excel.

Анализ обжимной способности черновой группы

Для стана предусмотрено 15 типоразмеров слябов по ширине, но 97% от общего сортамента слябов имеют ширины, указанные на рис. 2.

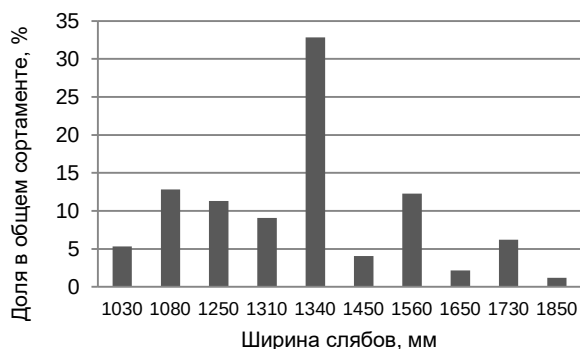


Рис. 2. Доля слябов различной ширины в общем сортаменте

Из данных типоразмеров слябов производят различные ширины полос. При этом одну и ту же полосу могут прокатать из нескольких типоразмеров слябов (например, полосу 1000 мм из слябов 1030 и 1080 мм, полосу 1200 из слябов 1340, 1330, 1310, 1250 и 1290, полосу 1530 из слябов 1560 и 1650 и т.д.). Распределение соответствия ширин полос различным ширинам слябов представлено на рис.3.

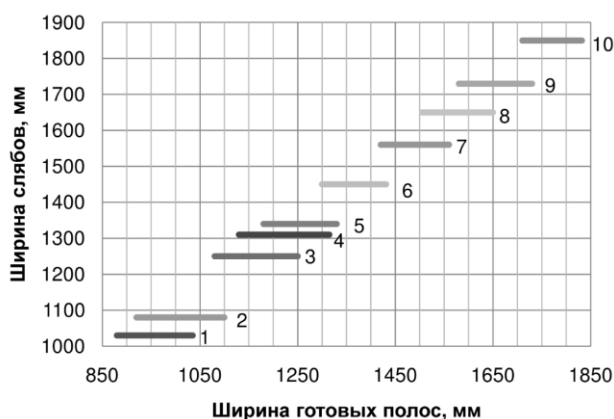


Рис. 3. Распределение соответствия между шириной полос и шириной слябов:

- 1 – сляб 1030; 2 – сляб 1080; 3 – сляб 1250;
- 4 – сляб 1310; 5 – сляб 1340; 6 – сляб 1450;
- 7 – сляб 1560; 8 – сляб 1650; 9 – сляб 1730;
- 10 – сляб 1850

Рассмотрели эффективное изменение ширины $\Delta b_{эф}$, которое можно представить в виде следующей формулы:

$$\Delta b_{эф} = B_{сл} - b_{п}, \quad (5)$$

где $B_{сл}$ – ширина сляба, мм; $b_{п}$ – конечная ширина полосы, мм.

Обнаружили, что более 25% $\Delta b_{эф}$ приходится на диапазон 41–60 мм (рис. 4), по 15% приходится на три диапазона: 1–20, 61–80, 81–100 мм, остальное на диапазоны 0–20, 101–160 мм. На диаграмме явно выражен убывающий тренд снижения величины редуцирования после 60 мм.



Рис. 4. Распределение эффективного изменения ширины полосы

На рис. 5 представлены максимально возможные обжатие по ширине (а) и по толщине раската (б) в черновой группе с компоновкой, представленной на рис. 1, в зависимости от номера прохода, которые получены согласно алгоритмам выбора технологических режимов прокати [5, 6].

Из рис. 5 видно, что в черновой группе заложен значительный резерв обжатия по толщине, а также возможность увеличения обжатия по ширине раската в первых четырех проходах за счёт использования поперечной устойчивости раската.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрели три варианта применения вертикальных валков в черновой группе, указанной на рис. 6. Вариант А – все вертикальные валки универсальных клеток имеют гладкую бочку (рис. 6, А). По варианту Б калиброванные валки применяются в первой универсальной клетки (рис. 6, Б), а по варианту В валки с гладкой бочкой заменены на калиброванные валки и в первой, и во второй универсальных клетях (рис. 6, В).

Размеры калибра на валках вертикального окалиноломателя (рис. 7, а) и на валках универсальных клеток (рис. 7, б, в) принимали с учетом известных рекомендаций [1, 4, 7-9, 11]

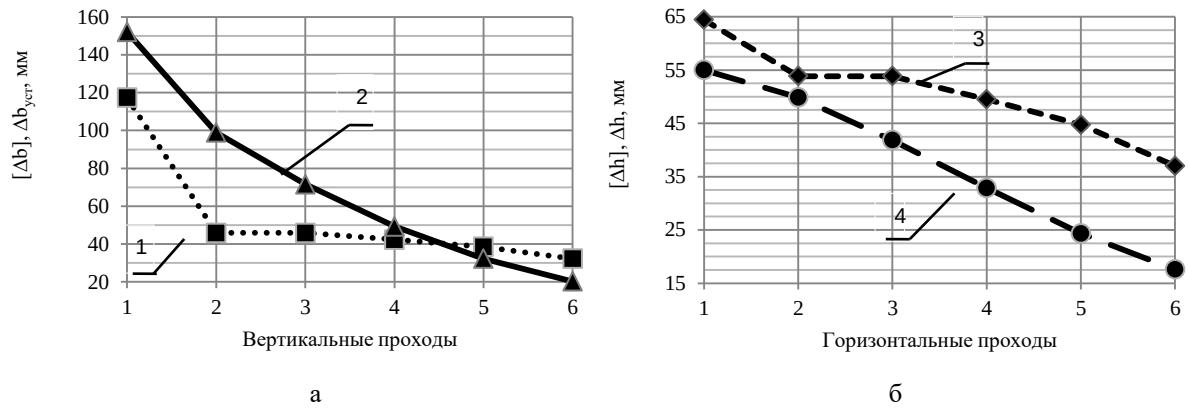


Рис. 5. Допустимые обжатия по ширине (а) и по толщине (б) раската:
 1 – возможное обжатие ширины по захватывающей способности валков $[\Delta b]$;
 2 – возможное обжатие ширины по условию поперечной устойчивости $\Delta b_{уст}$;
 3 – возможное обжатие толщины по захватывающей способности валков $[\Delta h]$;
 4 – фактическое обжатие по толщине Δh

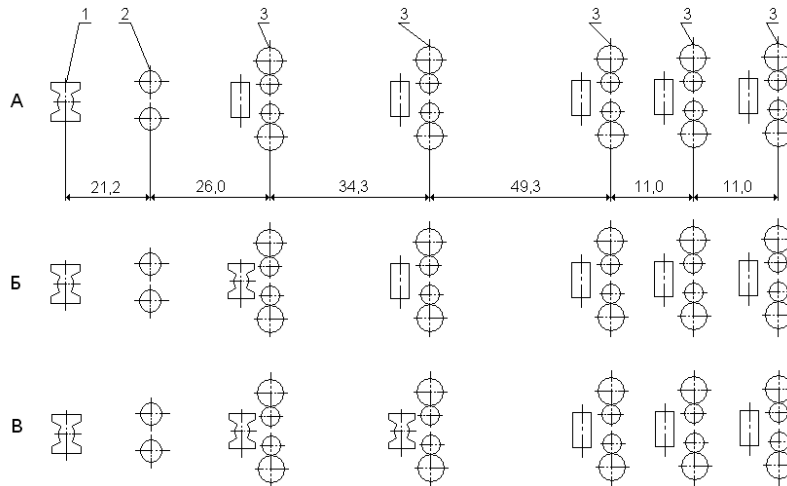


Рис. 6. Варианты применения вертикальных калиброванных валков:
 А – все вертикальные валки универсальных клеток имеют гладкую бочку;
 Б – установка калиброванного вертикального валка в первую универсальную клеть;
 В – установка калиброванных вертикальных валков в первую и вторую универсальные клетки;
 1 – вертикальный окалиноломатель; 2 – клеть дуо; 3 – универсальные неревверсивные клетки

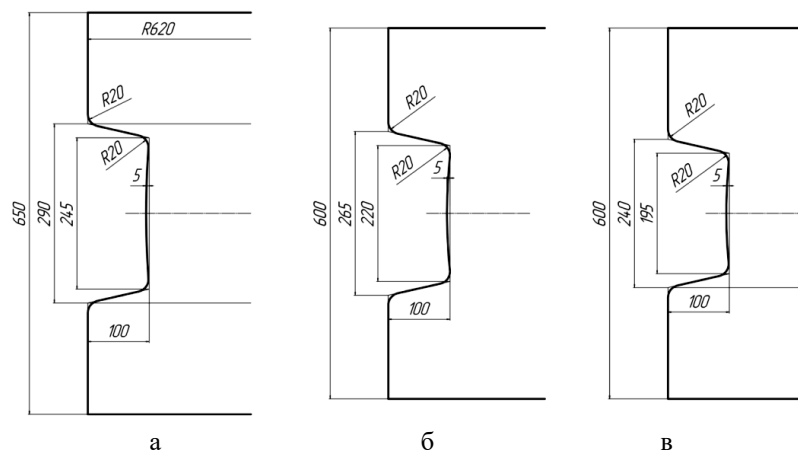


Рис. 7. Калибры вертикальных валков в черновой группе:
 а – в первой вертикальной клетке для вариантов А, Б, В; б – во второй вертикальной клетке для вариантов Б и В;
 в – в третьей вертикальной клетке для варианта В

При каждом варианте применения валков для каждого сляба с указанными выше ширинами и толщинами отыскивали режим деформации, обеспечивающий минимальную ширину промежуточного раската (то есть режим максимального редуцирования по ширине) и режим деформации, минимизирующий обрезь при наименьшей ширине промежуточного раската, которая может быть получена при использовании только гладких валков в универсальных клетях.

Результаты прокатки слябов в черновой группе по трём вариантам представлены на рис. 8. На рис. 8, а представлены результаты прокатки, где в черновой группе принята убывающая деформация по горизонтали от первой к последней клети, которая графически представлена на рис. 5, б. На рис. 8, б уже представлены результаты оптимизации (минимум ширины промежуточного раската) для каждого из трёх вариантов.

На рис. 9 представлено сравнение концевой обреза для трёх вариантов компоновок А, Б и В при прокатке с оптимизацией по ширине при выходе на ши-

рину промежуточного раската для сляба 1150 мм на 1005 мм для всех трёх вариантов, для сляба 1500 мм – 1368 мм, для сляба 1850 мм – 1733 мм. Из рисунка видно, что при прокатке по вариантам Б и В при выходе на ту же ширину промежуточного раската, что при варианте А возможно снизить концевую обрезь. При этом эффект снижения обреза более выражен при большей ширине сляба.

На рис. 10 представлено сравнение технологических режимов при прокате сляба 1150 мм (горизонтальных и вертикальных абсолютных обжатий) в зависимости от варианта. Из рисунка видно, что при вариантах Б и В при вертикальных проходах максимальные абсолютные обжатия происходят во второй и третьей вертикальной клетях. В варианте В для горизонтальных проходов в связи с применением калиброванных валков выражена фиксация первых двух абсолютных обжатий по 25 мм, для варианта А преобладает убывающее горизонтальное обжатие по клетям. На рис. 11 и 12 представлены режимы обжатий для слябов 1500 и 1850 мм.

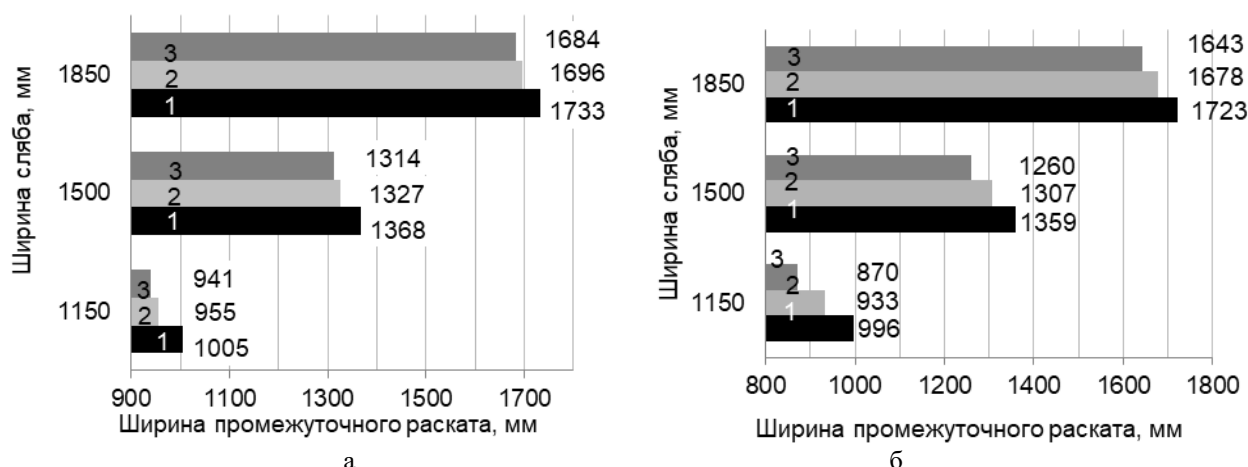


Рис. 8. Результаты деформаций слябов по ширине в зависимости от компоновки для режимов: а – убывающая деформация по ширине от первой к шестой клети; б – оптимизация по минимуму ширины промежуточного раската при компоновках; 1 – вариант А, 2 – вариант Б, 3 – вариант В; 941 – 1733 – наименьшие значения ширины (мм), которые могут быть достигнуты в соответствующих случаях

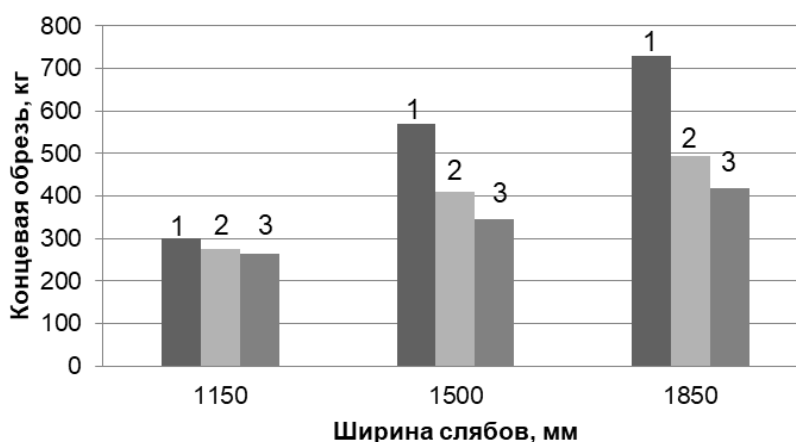


Рис. 9. Концевая обрезь при различных вариантах компоновок применения вертикальных валков: 1 – вариант А; 2 – вариант Б; 3 – вариант В

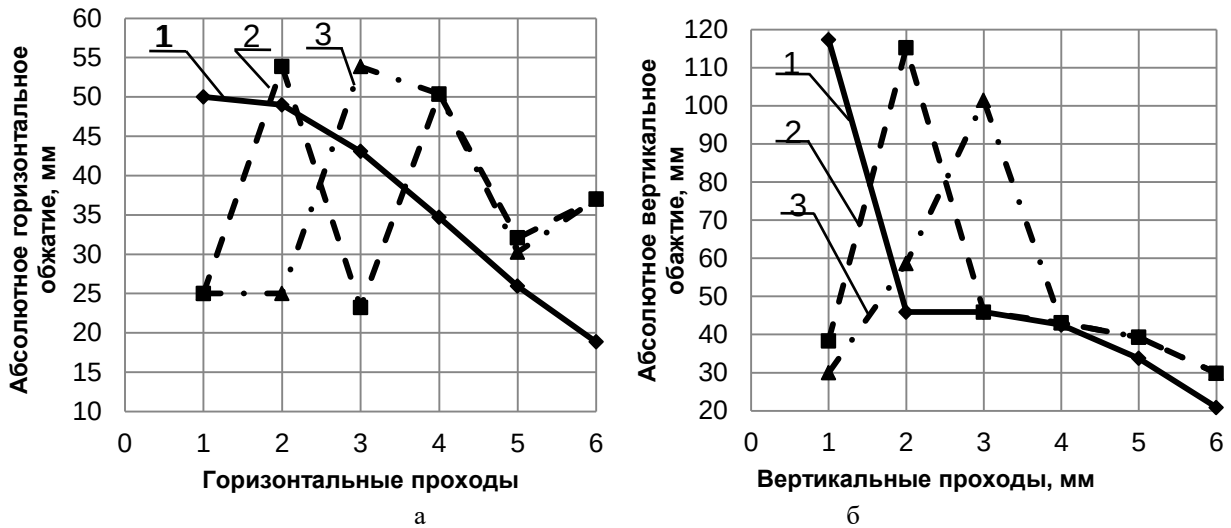


Рис. 10. Результаты абсолютных обжатий по клетям для каждого из вариантов при прокатке слэба 1150: а – горизонтальные обжатия; б – вертикальные обжатия: 1 – вариант А, 2 – вариант Б, 3 – вариант В

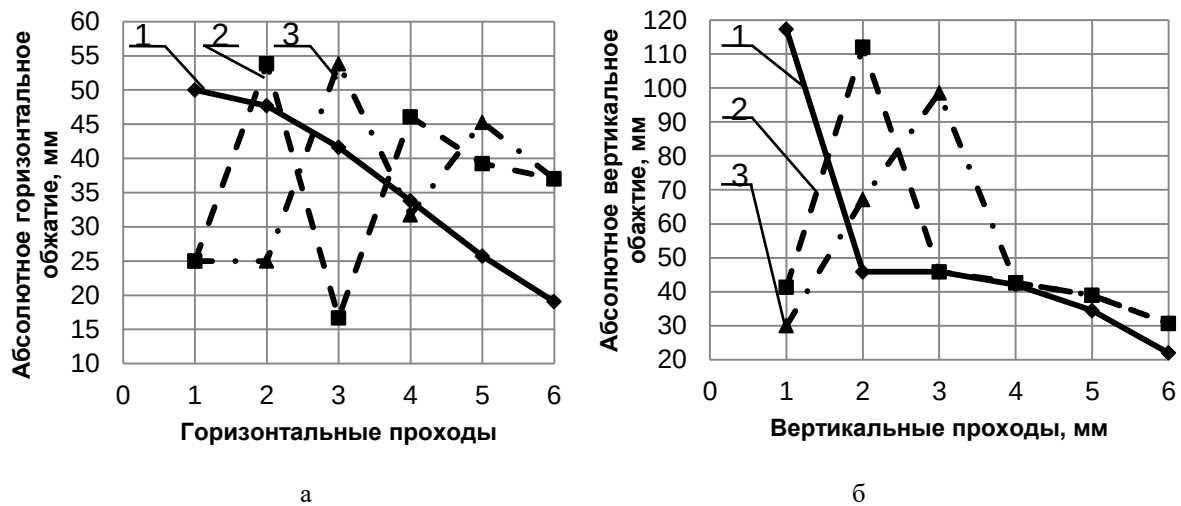


Рис. 11. Результаты абсолютных обжатий по клетям для каждого из вариантов при прокатке слэба 1500: а – горизонтальные обжатия; б – вертикальные обжатия, 1 – вариант А, 2 – вариант Б, 3 – вариант В

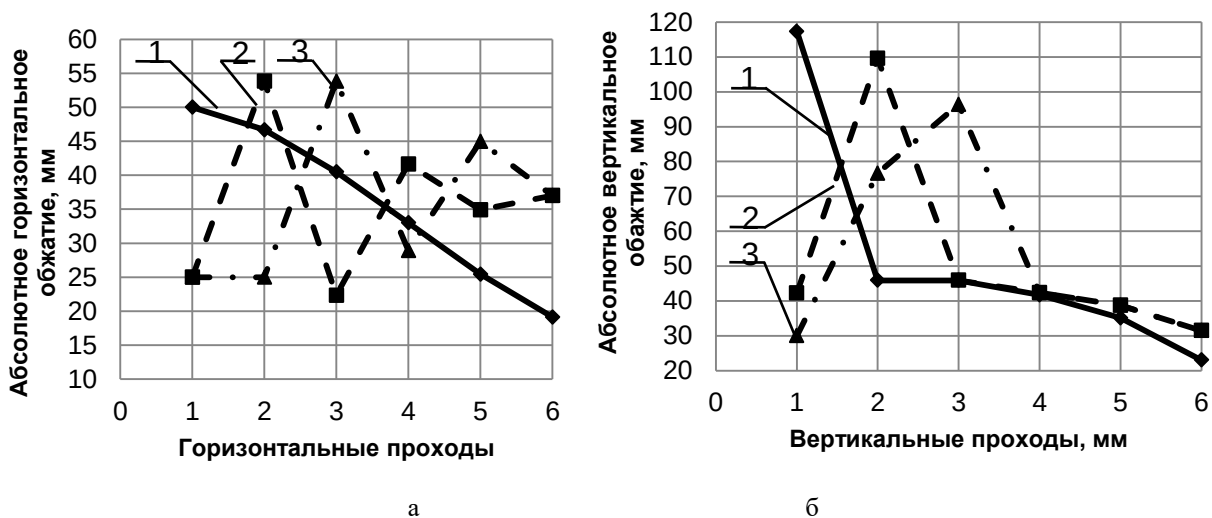


Рис. 12. Результаты абсолютных обжатий по клетям для каждого из вариантов при прокатке слэба 1850: а – горизонтальные обжатия; б – вертикальные обжатия, 1 – вариант А, 2 – вариант Б, 3 – вариант В

Из режимов прокатки видно, что для уменьшения концевой обрезки в первом вертикальном проходе не следует производить максимально возможное обжатие по ширине (варианты Б и В), а перераспределить его на второй или третий проход, что в принципе согласуется с работами [6, 10-12]. В этом случае создаются минимальные возможные длины утянутых передних и задних концов раската, которые при дальнейшем вертикальном обжатии выступают жёсткими концами [3], а утяжка переднего и задних концов выступают своего рода «фасками» и препятствуют увеличению концевой обрезки [3, 13]. Прокатка по вариантам Б и В позволяет снизить концевую обрезку и увеличить эффективность обжатия по ширине без оснащения вертикальных клеток гидронажимными устройствами для переменного обжатия по ширине [13, 14].

Заключение

1. Черновая группа широкополосного стана третьего поколения имеет резерв обжимной способности по толщине, который можно использовать за счёт перераспределений обжатий для максимального редуцирования ширины сляба и минимизации концевой обрезки.

2. Для увеличения редуцирующей способности черновой группы по ширине сляба возможно оснастить первую и вторую универсальные клетки вертикальными валками с ящичными калибрами высотой 225 мм в первой и 200 мм во второй клетях. Данное решение также позволит производить прокатку по режимам деформации, которые способствуют уменьшению концевой обрезки при условии, что обжимная способность черновой группы по ширине используется не полностью.

3. Разработаны режимы прокатки в черновой группе при использовании в первой и второй универсальных клетях вертикальных валков с ящичными калибрами, которые будут способствовать повышению энергоэффективности технологической системы «МНЛЗ-ШСГП» за счёт сокращения требуемого количества типоразмеров слябов по ширине, снижения концевой обрезки, а также создания условий для подачи к нагревательным печам стана слябов с максимальным теплосодержанием.

Список источников

1. Рудской А.И., Лунев В.А. Теория и технология прокатного производства: учеб. пособ. СПб.: Наука, 2005. 540 с.
2. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. Кн. 1: Производство горячекатаных листов и полос. М.: Теплотехника, 2008. 640 с.
3. Павельски О., Пибер В. Возможности и пределы деформации по ширине при плоской горячей прокатке // Чёрные металлы. 1980. № 17. С. 3-11.
4. Салганик В.М., Кульпин Е.В. Формирование ширины полос при горячей прокатке // Обзор. Информ. М.: Ин-т «Черметинформация». Сер. Прокатное производство, 1989. Вып. 2. 24 с.
5. Моделирование изменения ширины раската и алгоритмизация задачи выбора режима обжатий вертикальными валками в черновой группе ШСГП / В.М. Салганик, М.И. Румянцев, А.Г. Соловьев, Д.С. Цыбров // Неделя металлов в Москве: сборник трудов конференции, Москва, 09-13 ноября 2009 г. М., 2010. С. 581-588.
6. Салганик В.М., Румянцев М.И. Технология производства листовой стали: учеб. пособ. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 320 с.
7. Литовченко Н.В. Станы и технология прокатки листовой стали. М.: Металлургия, 1979. 272 с.
8. Шитов М.В. Изменения ширины сляба валками: область применения и направления развития // Калибровочное бюро. 2014. № 3. С. 91-111.
9. Совершенствование формы калибра эджерного валка черновой группы широкополосного стана литейно-прокатного комплекса / А.В. Даниленко, А.В. Мунтин, В.В. Науменко, В.М. Максимов // Сталь. 2021. № 4. С. 18-23.
10. Васекин А.В. Модели формоизменения концов толстых широких раскатов в плане при прокатке в системе горизонтальных и вертикальных валков // Металлургия и литьё Украины. 2009. № 9. С. 14-18.
11. Коновалов Ю.В., Руденко Е.А., Фролова М.О. Возможные технологии редуцирования непрерывнолитых слябов по ширине на широкополосных станах. Сообщение 2. Разработка и исследование схем редуцирования в универсальных клетях широкополосных станов // Производство проката. 2014. № 8. С. 3-13.
12. Анисочкина Е.А., Руденко Е.А., Полухина С.В. Распределение обжатий по вертикальным валкам черновых универсальных клеток широкополосного стана // Металлургия XXI столетия глазами молодых: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Донецк, 28-29 мая 2024 года. Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2024. С. 166-170.
13. Болобанова Н.Л., Антонов П.В., Котов К.А. Моделирование и исследование формообразования стального листового проката и совершенствование процессов его производства: монография. Череповец: ЧГУ, 2023. 262 с.
14. Болобанова Н.Л., Шаталов Р.Л., Болобанов М.А. Численное моделирование переменного бокового обжатия полосы в черновой группе широкополосного стана горячей прокатки // Чёрные металлы. – 2026. № 2. С. 4-9.

Сведения об авторах

Шитов Михаил Викторович – магистрант кафедры ОМД им. М. И. Бояршинова, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: mihailschitov@mail.ru. Author ID: 845569

Соловьев Александр Геннадьевич – директор ООО «ПРОМЕЗ», Магнитогорск, Россия. E-mail: sag71mgn@yandex.ru.

Румянцев Михаил Игоревич – профессор кафедры обработки материалов давлением им. М.И. Бояршинова, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: mikhail.rumyantsev54@bk.ru. Author ID: 423777. ORCID: 0000-0003-0608-0446

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

UNIFICATION OF DEFORMATION MODES IN THE HSM ROUGHING GROUP TO INCREASE EFFICIENCY OF SLABS WIDTH REDUCTION BY VERTICAL ROLLS

Shitov Mikhail V. – Master of the Department of Material Processing by Pressure named after M.I. Boyarshinov, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: mihailschitov@mail.ru. Author ID: 845569

Solov'ev Alexander G. – Director of LLC “PROMEZ”, Magnitogorsk, Russia. E-mail: sag71mgn@yandex.ru.

Rumyantsev Mikhail I. – Department of Material Processing by Pressure named after M.I. Boyarshinov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: mikhail.rumyantsev54@bk.ru. Author ID: 423777. ORCID: 0000-0003-0608-0446

Abstract. For the production of hot-rolled strips at wide-strip hot rolling mills (HSM), it is an urgent task to decreasing the number of standard sizes of cast slabs by width. Analysis of the reduction ability for thickness and width into the six-stand roughing group of the third generation HSM revealed a reserve for increasing the thickness reduction of the slab and limited possibilities for width reduction. To study the slab forming process in the roughing group of HSM, finite element modeling was used using the “Deform” software complex. Based on the results of finite element modeling, regression dependencies of the width and end edges of the unwinds from the distribution of transverse and height deformation by the rolling stands were constructed. These dependencies were used to optimize deformation modes according to the criterion of maximum reduction of slab width, as well as according to the criterion of minimum end cutting of the strips specified width. As a result of the search for optimal solutions, it was found that in order to increase the reduction along the width of the slab, it is advisable vertical rolls with a smooth barrel in the first and second universal stands to replace at rolls with box gauges similar to the rolls of a separate vertical stand, as well as redistribute the reductions through the thickness. Unified modes of slabs reduction by thickness and width in roughing group are proposed, which make it possible to reduce the number of standard sizes of slabs poured on Continuous Casting Machine (CCM), as well as to reduce the number of end trimmings on HSM, which contributes to improvement of energy efficiency of system “CCM-HSM”

Keywords: «Continuous Casting Machine - Wide-Strip Hot Rolling Mill» system, slab width, HSM roughing group, width reduction, thickness reduction, end waste of the strips, unified deformation modes

References

1. Rudskoy A.I., Lunev V.A. Theory and technology of rolling production: Training. Method. St. Petersburg: Science, 2005. 540 s.
2. Konovalov Yu.V. Distributor's Handbook. Kn. 1: Production of hot-rolled sheets and strips. M.: Heat engineering, 2008. 640 s.
3. Pavelski O., Pieber V. Possibilities and limits of deformation in width during flat hot rolling // Ferrous metals. 1980. № 17. S. 3-11.
4. Salganik V.M., Kulpin E.V. Formation of strip width during hot rolling // Overview. Inform. M.: Institute "Chermetinformatsiya." Ser. Rolling production, 1989. No. 2. 24 pp.
5. Modeling the change in the width of the roll and algorithmization of the task of choosing the reduction mode by vertical rolls in the draft group of ShSGP/V.M. Salganik, M.I. Rumyantsev, A.G. Soloviev, D.S. Tsybrov // Week of Metals in Moscow. November 09-13, 2009. Collection of proceedings of the conference. M., 2010. S. 581-588.

6. Salganik V.M., Rumyantsev M.I. Sheet steel production technology: training method. Magnitogorsk: GOU HPE "MSTU." 2007. 320 s.
7. Litovchenko N.V. Mills and sheet steel rolling technology. M.: Metallurgy, 1979. 272 p.
8. Shitov M.V. Changes in the width of the slab with rollers: area of application and direction of development // Calibration bureau. 2014. № 3. С. 91–111.
9. Improving the shape of the edger roll gauge of the draft group of the wide-strip mill of the foundry and rolling complex / A.V. Danilenko, A.V. Muntin, V.V. Naumenko, V.M. Maksimov // Steel. 2021. № 4. S. 18-23.
10. Vasekin A.V. Models of shaping the ends of thick wide braces in plan during rolling in the system of horizontal and vertical rolls // Metallurgy and casting of Ukraine. 2009, no. 9, pp. 14-18.
11. Konovalov Yu.V., Rudenko E.A., Frolova M.O. Possible technologies for reducing continuously cast slabs in width at broadband mills. Message 2. Development and research of reduction schemes in universal stands of wide-strip mills // Production of rolled products. 2014. № 8. S. 3-13.
12. Anisochkina, E. A. Distribution of crimps on vertical rolls of rough universal stands of the broadband mill / E. A. Anisochkina, E. A. Rudenko, S. V. Polukhina // Metallurgy of the XXI century through the eyes of young people: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference of young scientists and students, Donetsk, May 28-29, 2024. Donetsk: Donetsk National Technical University, 2024. S. 166-170.
13. Bolobanova N.L., Antonov P.V., Kotov K.A. Modeling and study of steel sheet formation and improvement of its production processes. Monograph. Cherepovets: ChSU, 2023. 262 pp.
14. Bolobanova, N. L. Numerical simulation of variable lateral reduction of strip in the roughing group of wide-strip hot rolling mill / N. L. Bolobanova, R. L. Shatalov, M. A. Bolobanov // Ferrous metals. 2026. № 2. S. 4-9.

Ссылка на статью:

Шитов М.В., Соловьев А.Г., Румянцев М.И. Унификация режимов деформации в черновой группе ШСГП для повышения эффективности бокового обжатия слэбов вертикальными валками // Теория и технология металлургического производства. 2026. №3(58). С. 47-55. [https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3\(58\)-47-55](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3(58)-47-55)

Shitov M.V., Solov'ev A.G., Rumyantsev M.I. Unification of deformation modes in the hsm roughing group to increase efficiency of slabs width reduction by vertical rolls. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2026, vol. 58, no. 3, pp. 47-55. [https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3\(58\)-47-55](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3(58)-47-55)