

ДОНЕЦКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ПИЛИПЕНКО ИГОРЬ ЕВГЕНЬЕВИЧ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛОСБЕРЕГАЮЩЕЙ
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТОЛСТОЛИСТОВОГО
ПРОКАТА ИЗ ЛИТЫХ СЛЯБОВ, В ТОМ ЧИСЛЕ С
УЛУЧШЕНИЕМ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА В ПРИКРОМОЧНОЙ
ЗОНЕ

Специальность 05.16.05 - "Обработка металлов давлением"

Автореферат

диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Донецк - 1992

Работа выполнена в Донецком научно-исследовательском институте черной металлургии.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор В.В.Коновалов.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор В.С.Горелик, кандидат технических наук В.Д.Дмитриев.

Ведущее предприятие - Мариупольский металлургический комбинат им.Ильича.

Защита состоится " 28 " января 1993 года в 12 часов 00 минут на заседании специализированного совета Д 068.20.01 Донецкого политехнического института, адрес: 340000, Донецк, ул.Артема, 58, 5-й учебный корпус, аудитория 353.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого политехнического института.

Автореферат разослан " 14 " декабря 1992 года.

Ученый секретарь

специализированного совета

А.А.Троянский

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00814540 (M)

ЛННБ ім. В. Стефаника
ІНУРС

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одним из важнейших направлений развития черной металлургии является улучшение качества и снижение материалоемкости производства металлопродукции. Под снижением материалоемкости нами понимается повышение выхода годного при производстве листов на реверсивных станах за счет сокращения отходов металла в обрезь.

Особое влияние на удельный расход металла оказывают отходы с боковой и торцевой обрезью, которые в основном зависят от формы раската в плане, а также качества боковой кромки и прикромочных зон раскатов. Поиск, разработка и реализация технических и технологических решений по снижению расхода металла в обрезь за счет улучшения качества прикромочных зон раскатов является актуальной задачей производства толстых листов на реверсивных станах.

Цель работы. Разработка и реализация предложений по улучшению качества прикромочной зоны раскатов и снижению удельного расхода металла при производстве толстых листов на реверсивных станах из литых слабов.

Научная новизна. Спервые разработаны методика, математические модели и алгоритм расчета формоизменения узких граней раскатов и величины перехода дефектов на контактные поверхности при прокатке листов в горизонтальных валках по произвольным схемам, учитывающие перепад температуры между верхней и нижней поверхностями раската.

На базе разработанных алгоритма и программы расчета формоизменения узких граней раскатов создан новый, признанный изобретением, способ прокатки толстых листов, обеспечивающий исключение образования дефекта "рваная кромка".

Создана методика расчета дифференцированных припусков на боковую и торцевую обрезь, учитывающая точность порезки заготовок, форму раскатов в плане и качество металла прикромочных зон.

Предложена новая форма сляба со скругленными углами, применение которой позволяет избежать трещин-закатов на нижней широкой грани раскатов.

Практическая ценность и реализация работы в промышленных условиях. Определены обоснованные нормы предельных отклонений длин слябов от номинальных значений, которые почти в 2 раза меньше по сравнению с действующими.

Разработана методика и получена формула для расчета длины многократных заготовок, рекомендуемая работникам планово-распределительных бюро для использования при заказе заготовок.

Для снижения расхода металла в обрезь разработан следующий комплекс мероприятий: методика и алгоритм расчета дефектов в прикромочных зонах раската, рекомендация по повышению стабильности для боковых граней слябов, формулы для определения нормированных дифференцированных припусков на боковую и торцевую обрезь, новый способ прокатки толстых листов, который признан изобретением.

Установлены и представлены в виде таблиц рациональные параметры фабрикация, включающие размеры листов и слябов, расчетную массу листов, дифференцированные припуски на боковую и торцевую обрезь, число краевых слябов, дополнительную обрезь, коэффициенты фабрикация. Таблицы позволяют фабрикату оперативно, в соответствии с портфелем заказов и графиком прокатки, заказывать слябы или разрабатывать наряд-задание на прокатку по имеющимся в наличии слябам.

Разработанный комплекс мероприятий по улучшению качества прикромочной зоны раскатов и снижению удельного расхода металла внедрен на толстолистовом стане 3600 металлургического комбината "Азовсталь". Внедрение разработанных мероприятий позволило повысить точность порезки непрерывнолитых слябов, снизить перепад температуры между широкими поверхностями раскатов, повысить качество металла прикромочной зоны за счет исключения образования дефектов на кройках и пиклеи поверхности раскатов, уменьшить припуски на боковую и торцевую обрезь.

Экономический эффект от внедрения разработок, содержащихся в диссертации, составил 67,3 тыс. руб. (доля диссертанта - 42,1 тыс. руб.).

Публикации и апробация работ. Основное содержание работы опубликовано в пяти печатных трудах.

Материалы диссертации доложены и обсуждены на У научно-технической конференции молодых металлургов-исследователей, Донецк, 1985; отраслевом научно-техническом семинаре "Пути снижения расхода металла в прокатном производстве", Днепропетровск, 1988; республиканской научно-технической конференции "Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в черной металлургии", Днепропетровск, 1989; семинаре "Разработка и внедрение АСУ ТП в прокатном производстве", Киев, 1990; семинаре "Ресурсосбережение в производстве чистового проката", Москва, 1990; научно-технической конференции молодых ученых, инженеров и рабочих "Создание и освоение экономически чистых ресурсосберегающих технологий в черной металлургии"; объединенном семинаре кафедры "Обработка металлов давлением" Донецкого политехнического института и отделов прокатного производства Донничермета, 1991-1992; секции ученого совета Донничермета по прокатному производству, Донецк, 1992.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 разделов и приложения, изложена на 164 страницах машинописного текста, содержит 29 рисунков, 25 таблиц и список использованной литературы из 128 источников.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными особенностями формообразования раскатов при прокатке листов на реверсивных станах являются: значительная неравномерность деформации по ширине раската и широкие диапазоны изменения основных технологических параметров прокатки, которые составляют $l_d / H_{cp} = 0,2 \dots 3,0$; $\Delta H / H_0 = 0,15 \dots 0,45$; $B_0 / H_0 = 2 \dots 150$; $H_0 / D = 0,01 \dots 0,6$; $V = (1 \dots 6) \text{ м/с}$, где H_0 и B_0 - толщина и ширина раската перед обжатием; ΔH - обжатие в одном проходе; l_d - длина очага деформации; H_{cp} - среднее значение толщины раската в проходе; D - диаметр валков; V - скорость прокатки.

Анализ литературных источников показал, что выбор схем и режимов прокатки существенно влияет на форму раскатов. Однако данных по формообразованию и дефектообразованию раскатов на современных толстолистовых станах, прокатывающих непрерывнолитые слябы толщиной 250 мм и более, практически нет. Недостаточно сведений о фактической нестабильности размеров слябов и ее влиянии на форму раската и расход металла.

От формы боковых граней раската в значительной степени зависит дефектообразование на боковых кромках, а, следовательно, и величина боковой обрезки.

Однако в технической литературе не обнаружено достаточно точной методики расчета формоизменения узких граней раската при прокатке слябов в условиях реверсивного толстолистового стана.

Существующие зависимости Чекирева, Гайдука и Замидовского не учитывают температурный перепад между верхней и нижней гранями раскатов, а формулы Кузена и Горотинцева не дают ответ, когда и каким образом следует исправлять форму узких граней в клетях с вертикальными вальками.

Боковая поверхность раската при деформации находится под действием растягивающих напряжений и при определенных неблагоприятных условиях при прокатке на ней возможно образование дефектов. Кроме того, суммарная деформация не является фактором, достаточным для обеспечения бездефектности боковых кромок и прикромочных зон раската. Надо распределять обжатия по проходам так, чтобы избежать опасного уровня растягивающих напряжений. В технической литературе имеется ряд рекомендаций по бездефектной прокатке, однако по тем или иным причинам они не всегда приемлемы.

Несмотря на важное практическое значение, недостаточно изучен в литературе процесс перехода металла с боковых поверхностей заготовки на широкие поверхности раската.

Таким образом, исходя из анализа технической литературы для достижения выбранной цели в работе сформулированы следующие основные задачи:

экспериментально исследовать и получить количественные зависимости форм концов раскатов и величины прикромочных дефектных зон от основных параметров прокатки;

на основании полученных результатов разработать и освоить нормированные дифференцированные припуски на боковую и торцевую обрезь, обеспечивающие снижение удельного расхода металла;

выявить причины образования дефектов в прикромочной зоне раскатов и разработать рекомендации по их устранению;

разработать универсальную методику расчета формоизменения узких граней при прокатке листов из литых слябов;

на базе созданной методики разработать и исследовать в промышленных условиях способы прокатки, обеспечивающие улучшение качества кромок при прокатке листов с катаной кромкой.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА, ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ
И КАЧЕСТВА ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ НА СТАНЕ 3600 КОМБИНАТА
"АЗОВСТАЛЬ"

Точность порезки непрерывнолитых слябов на складе слябов стана 3600 и в кислородно-конвертерном цехе оценивали по косине реза и отклонению от номинальных размеров слябов. Установлено, что с учетом металлоемкости неровных концов дополнительный удельный расход металла за счет косины реза составляет 0,77%, а за счет разброса длины слябов — 1,26%.

Разработан ряд мероприятий, направленных на повышение точности порезки слябов, включающий устройство для уменьшения разности длин боковых граней, нормируемое поле разброса длины слябов и формулу для расчета длины многократных длиномерных заготовок.

Экспериментально определено, что качество реза слябов на стационарных устройствах в кислородно-конвертерном цехе существенно выше по косине реза, но ниже по такому параметру, как отклонение от номинальных размеров, чем при порезке на складе прокатного стана.

С целью разработки методики расчета длины торцевой обрезки выполнены экспериментальные исследования обрезки путем фотографирования переднего и заднего концов раскатов при прокатке листов по продольной схеме с протяжкой и разбивкой ширины. Типовая форма неровного конца представлена на рис. 1.

Схема замеров и типовая форма неровного конца раската

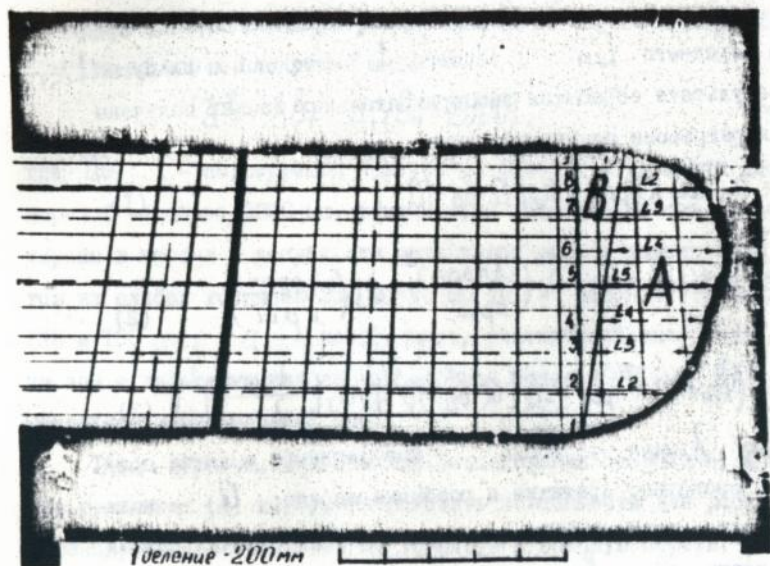


Рис. I

Из рисунка видна структура торцевой обрезки, а именно: технологическая (часть А) и дополнительная (часть В) обрезь. Границей области А является отрезок, проведенный через точки перехода бокового контура в торцевой (точки I и IO). Величина дополнительной обрезки находится в пределах (100...820) мм и составляет в среднем 0,78%. Как показали исследования точности порезки слэбов, основной причиной образования дополнительной обрезки на листах является неправильная форма (отклонение от прямоугольной в плане) слэба, которая определяется косиной реза.

Анализ экспериментальных данных позволил установить, что величина суммарной технологической обрезки колеблется от 250 до

1400 мм и составляет в среднем 2,6%. Для оценки влияния основных параметров прокатки на величину и форму технологической обрезки использован метод наименьших квадратов. В качестве критериев, характеризующих величину технологической торцевой обрезки, приняты длина переднего L_1 , заднего L_3 концов и их сумма $L_{\Sigma T}$.

В результате обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии следующего вида

$$L_{пер} = a_0 + a_1 \lambda_{прод}^2 + a_2 (Q \cdot b_p \cdot 10^{-9}) \quad (1)$$

$$L_{зад} = a_0 + a_1 \lambda_{прод} + a_2 \left(\frac{\lambda_{прот}}{\lambda_{р.ш}} \right)^2 + a_3 \left(\frac{\lambda_{прот}}{\lambda_{р.ш}} \right) \quad (2)$$

$$L_{\Sigma T} = 2 \left(a_0 + a_1 \lambda_{прод}^2 + a_2 [Q \cdot b_p \cdot 10^{-9}] + a_3 \left[\frac{\lambda_{прот}}{\lambda_{р.ш}} \right]^2 \right), \quad (3)$$

где $\lambda_{прод}$, $\lambda_{прот}$, $\lambda_{р.ш}$ — коэффициенты вытяжки при продольной прокатке, протяжке и разбивке ширины; Q — количество металла, прокатанного с начала кампании рабочих валков черновой клетки; t ; b_p — ширина раската, мм; a_0 , a_1 , a_2 , a_3 — коэффициенты уравнений, численные значения которых приведены в работе.

Расчитанные по формулам (1) — (3) величины соответствуют длине технологической обрезки по осевой линии раската. Выполненные по фотографиям замеры площадей торцевой обрезки позволили определить приведенную суммарную технологическую и дополнительную обрезь

$$L_{\Sigma} = 0,87 \cdot L_{\Sigma T} + 0,0078 \ell_n \quad (4)$$

где ℓ_n — номинальная длина листов, мм.

С целью разработки методики расчета величины боковой обрезки выполнены исследования качества прикромочной зоны (отобраны темплеты от дефектных зон). Определено, что основными дефектами

в прикромочной зоне являются трещины, закаты и риски. Она располагается на расстоянии (0...85) мм от края раскатов.

Анализ результатов исследований позволял получить уравнение для расчета величины дифференцированных по ширине припусков на боковую обреш в следующем виде:

$$\Delta b = \Delta b_1 + a_1 (b_n - 2000). \quad (5)$$

где Δb_1 — нормируемый припуск на боковую обреш для листов шириной не более 2000 мм, учитывающий разношеринность, разброс ширины в партии и допуск для устойчивой работы ножниц (для листов из слябов толщиной 250 и 300 мм Δb_1 равен соответственно 130 и 150 мм); a_1 — коэффициент, учитывающий увеличение ширины зон с дефектами для листов шириной более 2000 мм; b_n — номинальная ширина листа, мм.

Таким образом, выполнение исследования позволили, используя уравнения (4) и (5), разработать зависимости для расчета дифференцированных припусков на торцевую и боковую обреш, учитывающие параметры прокатки и качество прикромочных зон.

Разработанные и рассчитанные припуски на обреш представлены в виде таблиц рациональных параметров fabrication, включающих толщину, ширину и длину листа и сляба, расчетную массу листа, дифференцированные припуски на боковую и торцевую обреш, число кратных листов, дополнительную обреш. Таблицы позволяют фабрикантору оперативно в соответствии с портфелем заказов и графиком прокатки заказывать слябы или разрабатывать наряд-задание на прокатку по имеющимся в наличии слябам.

Внедрение разработанных дифференцированных припусков на стане 3600 позволило снизить удельный расход металла на 4,8 кг/т.

Одна из наиболее часто встречающихся и характерных трещин на нижней поверхности раската имеет вид прямолинейной закатанной

несплошности, проходящей вдоль боковой кромки листа по всей его длине. Для определения причин возникновения трещин-закатов были прокатаны слябы, в боковые кромки и прикромочные зоны которых засверлены стальные шпильки. Осмотр опытных раскатов показал, что продольные трещины возникают снизу в местах соприкосновения широкой и боковой граней. Для предотвращения образования характерных продольных трещин возле боковых граней листов произвели закругление углов на нижних боковых гранях опытных слябов. После прокатки слябов со скругленными углами дефекты на нижней грани раската отсутствовали. На новую форму слябов со скругленными углами получено авторское свидетельство на изобретение.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕРЕПАДА МЕЖДУ ВЕРХНЕЙ И НИЖНЕЙ ПОВЕРХНОСТЯМИ РАСКАТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ УЗКИХ ГРАНЕЙ

Оценка температурного состояния слябов проведена при нагреве в методических печах, при транспортировке к рабочей клетки и при прокатке в черновой клетки.

Экспериментально установлено, что существующий режим нагрева приводит на выходе из методических печей к разности температур между верхней и нижней поверхностями сляба (40...60)⁰C. Анализ полученных экспериментальных значений показал, что на перепад температуры по толщине слябов основное влияние оказывает соотношение температур между верхними и нижними сварочными зонами в конце нагрева.

Для оценки температурного состояния слябов при транспортировке к клетки произведены расчеты изменения температуры металла на верхней и нижней поверхностях в зависимости от времени транспортировки с момента выдачи из печи. Для проверки полученных расчетных значений выполнены промышленные исследования темпера-

турного состояния слябов на рольганге.

Анализ полученных экспериментальных и теоретических значений показал следующее:

1. На слябах, не подвергаемых гидросбиву, вследствие наличия на их верхней поверхности печной окалины, верхняя поверхность остывает в меньшей степени, чем нижняя, и, следовательно, температурный перепад между верхней и нижней гранями увеличивается.

2. При транспортировке слябов до камеры гидросбива температурный перепад возрастает, а после гидросбива — уменьшается.

3. С увеличением времени нахождения слябов на рабочем рольганге перепад температуры уменьшается в среднем на $(8...16)^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, при этом среднemasсовая температура снижается на $(10...12)^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, а температура поверхности — на $(20...25)^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

Исследования температурного состояния металла в процессе прокатки в черновой клетке проведены при помощи оптических пирометров. Установлено, что перепад температуры по толщине в процессе прокатки находится в пределах от минус 56°C до плюс 97°C и составляет в среднем 32°C .

Существующий в процессе прокатки перепад температуры между верхней и нижней гранями раската смоделирован в условиях лабораторного стана 340.

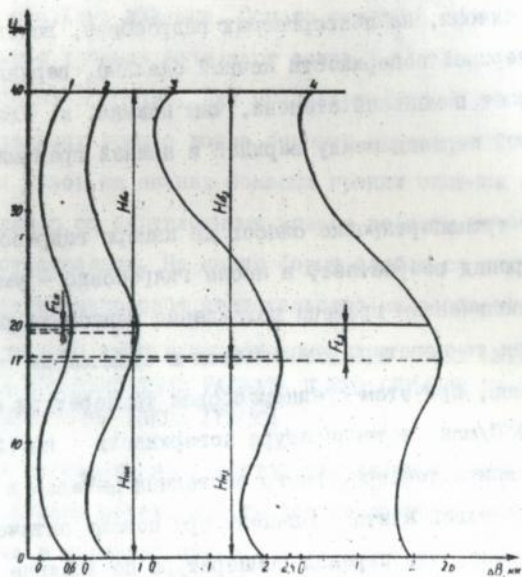
Влияние перепада температуры между верхней и нижней гранями раската на контуры узких торцевых граней после прокатки представлено на рис. 2.

Из рисунка видно, что толщина раската после прокатки состоит из двух неодинаковых частей: верхней h_B и нижней h_H .

Поэтому можно записать

$$h_1 = h_B + h_H \quad (6)$$

Зависимость контуров узких передних и задних
граней раскатов от перепада температуры



1 - передний конец; $\Delta t = 17^{\circ}\text{C}$;

2 - передний конец; $\Delta t = 26^{\circ}\text{C}$;

3 - задний конец; $\Delta t = 17^{\circ}\text{C}$;

4 - задний конец; $\Delta t = 26^{\circ}\text{C}$;

$H_{12}^{n(3)}$ - толщина верхней части раската на переднем
(заднем) конце;

$H_{21}^{n(3)}$ - толщина нижней части раската на переднем
(заднем) конце.

ΔB - отклонение ширины раската от прямоугольной формы.

Рис. 2

Коэффициент перепада температуры F_t для переднего и заднего концов определен по формулам

$$F_t^n = (h_B^n - h_H^n) \cdot 0,5 ; \quad (7)$$

$$F_t^3 = (h_B^3 - h_H^3) \cdot 0,5 . \quad (8)$$

Коэффициент перепада температуры определяет отклонение максимальной вогнутости или выпуклости от осевой линии по толщине и показывает изменение деформации между верхней и нижней частями раската.

Коэффициент температурной асимметрии (δ) для переднего конца определяется из выражения

$$\delta^n = h_B^n / h_H^n = 1,1 . \quad (9)$$

а для заднего конца

$$\delta^3 = h_B^3 / h_H^3 = 1,425 \quad (10)$$

Из совместного решения уравнений (6), (7), (9) и (6), (8), (10) получены формулы для определения коэффициентов перепада температуры соответственно переднего (F_t^n) и заднего (F_t^3) концов раската

$$F_t^n = \kappa_1 \cdot \Delta t \cdot h_1 ; \quad \kappa_1 = 0,00108 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} ; \quad (11)$$

$$F_t^3 = \kappa_2 \cdot \Delta t \cdot h_1 ; \quad \kappa_2 = 0,00401 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} . \quad (12)$$

Для заднего конца раската влияние перепада температур между верхней и нижней гранями на угол наклона и форму узких граней больше, чем для переднего. Этот факт объясняется тем, что интенсивность течения металла в приконтактных слоях на заднем конце больше, чем на переднем. Поэтому на заднем конце более нагретые слои металла тянут за собой менее нагретые средние слои интенсивнее в сравнении с передним концом, что приводит к большей асимметрии по толщине.

ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ УЗКИХ ГРАНЕЙ РАСКАТОВ

В результате экспериментальной прокатки по схеме "слаб-недокат" установлено, что нарушение сплошности боковых граней происходит в первых после разбивки ширины продольных проходах в горизонтальных галках.

Для изучения влияния на дефектообразование формы узких граней раскатов смоделированы различные варианты боковых граней раскатов при прокатке вдоль после разбивки ширины. Анализ результатов, полученных при опытной прокатке, показал, что с увеличением отклонения формы кромок от прямоугольной размеры дефектов на боковых кромках возрастает. При этом наиболее благоприятные условия для образования дефектов имеются при прокатке раскатов с выпуклой формой боковых граней. Гогнутая форма боковой грани способствует возникновению значительных растягивающих напряжений, что также приводит к образованию трещин и надрывов на кромках. Таким образом, для улучшения качества боковых граней раскатов при прокатке толстых листов необходимо обеспечить такие условия, при которых в продольных проходах отклонение формы кромок от прямоугольной было бы минимальным.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ УЗКИХ ГРАНЕЙ

Исследования процесса формоизменения узких граней раскатов проведены на лабораторном стане 340 Динвичермет, который представляет собой клеть кварто, работающую в реверсивном режиме. В качестве исследуемого параметра приняты относительные вогнутость ($-\Delta B$) или выпуклость ($+\Delta B$) узкой грани в центре по ширине. Зависимости формоизменения узких граней от параметра формы очага деформации ϵ_d / H_{cp} определили по ре-

результатам моделирования процесса прокатки в черновой клетке стана 3600.

Уравнения, описывающие получаемые зависимости, для переднего, заднего концов и боковых граней имеют вид

$$\frac{B^2}{\Delta H} = 2 \frac{\ell d}{H_{cp}} - \left(\frac{\ell d}{H_{cp}} \right)^2 - 0,65 ; \quad (13)$$

$$\frac{B^3}{\Delta H} = 2,49 \frac{\ell d}{H_{cp}} - 1,1 \left(\frac{\ell d}{H_{cp}} \right)^2 - 1,02 ; \quad (14)$$

$$\frac{B^{бок}}{\Delta H} = 1,63 \frac{\ell d}{H_{cp}} - 0,45 \left(\frac{\ell d}{H_{cp}} \right)^2 - 1,1 , \quad (15)$$

где ΔH - обжатие по толщине, мм.

Анализ полученных результатов показал, что для переднего конца прокатки в условиях $\ell d / H_{cp} < 0,4 \dots 0,5$ приводит к вогнутости, а при $\ell d / H_{cp} > 0,4 \dots 0,5$ - к выпуклости. Для заднего конца переход от вогнутости к выпуклости происходит в интервале $\ell d / H_{cp} = 0,55 \dots 0,65$.

Зависимости для расчета отклонения ширины раската от прямоугольной формы в любой точке по толщине на переднем ΔB_y^n , заднем ΔB_y^3 концах и на боковой $\Delta B_y^{бок}$ грани имеют вид

$$\Delta B_y^n = \Delta H \left[\left(\frac{y - 0,5H_1 + F_{tn}}{H_t} \right)^4 - \left(\frac{y - 0,5H_1 + F_{tn}}{H_t} \right)^2 \left(1,65 + \left(\frac{\ell d}{H_{cp}} \right)^2 - 2 \frac{\ell d}{H_{cp}} \right) \right] ; \quad (16)$$

$$\Delta B_y^3 = \Delta H \left[\left(\frac{y - 0,5H_1 + F_{tz}}{H_t} \right)^4 - \left(\frac{y - 0,5H_1 + F_{tz}}{H_t} \right)^2 \left(2,02 + 1,1 \left(\frac{\ell d}{H_{cp}} \right)^2 - 2,49 \frac{\ell d}{H_{cp}} \right) \right] ; \quad (17)$$

где $H_t = \frac{H_1}{2} - F_t$ при $y \leq \frac{H_1}{2} - F_t$, иначе $H_t = \frac{H_1}{2} + F_t$;

$$\Delta B_y^{бок} = 0,05 \Delta H \left\{ \left(\frac{y - 0,5H_1}{0,5H_1} \right)^4 - \left(\frac{y - 0,5H_1}{0,5H_1} \right)^2 \left[2,1 - 1,63 \frac{\ell d}{H_{cp}} + 0,45 \left(\frac{\ell d}{H_{cp}} \right)^2 \right] \right\} ; \quad (18)$$

АНБ Ин. В. Стефанья
АН УРСР

где y - текущая координата по толщине раската с нулевым значением на нижней грани, мм.

Уравнения (16) - (18) позволяют рассчитать параметры формы боковых и торцевых граней раската, полученного за один проход из прямоугольной заготовки. При сложных схемах прокатки, предусматривающих прокатку раскатов за несколько проходов, а также прокатку на разных этапах во взаимно перпендикулярных направлениях, формоизменение на каждом новом этапе начинается из раската, имеющего начальное отклонение формы от прямоугольной. Расчет параметров формы боковых и торцевых граней раскатов в этом случае производится следующим образом. Раскат условно разбивается на n - ное число равных участков по толщине и рассчитывается по уравнениям (16) - (18) отклонение формы торцевых или боковых граней для каждого i - того участка. В следующем проходе производится суммирование отклонения i - того участка, полученное в предыдущем проходе, с соответствующим отклонением, полученным в настоящем проходе.

Алгоритм расчета формоизменения узких граней реализован в виде программы для персонального компьютера типа "АТ".

Сравнение расчетных значений с экспериментальными, полученными на стане 3600, показало достаточную для практического использования точность. Средняя ошибка в определении площадей контуров узких граней не превышает 2,2%, а полосок перехода - 14%.

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СНИЖЕНИЮ РАСХОДА И УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА

Проведенный комплекс исследований и разработанный на его основе алгоритм расчета формоизменения узких граней раскатов позволили разработать новый, рациональный с точки зрения умень-

шения нарушена: сплошности способ прокатки. Критерием рациональности является обеспечение условий, при которых не происходит нарушение сплошности боковых кромок. Достигаются эти условия за счет одновременной прокатки раската в вертикальных валках и с рассчитываемыми при помощи алгоритма обжатиями.

В предложенном способе прокатки формирование узких граней раската необходимой, т.е. близкой к прямоугольной, формы достигается тем, что после разбивки ширины и кантовки производят проглаживание раската в горизонтальных валках с целью устранения выпуклости по ширине (при необходимости) и прокатку в вертикальных валках с суммарным обжатием, определяемым величиной вогнутости боковых граней. Искомую величину вогнутости рассчитывают при помощи алгоритма расчета деформации узких граней.

Для исследования эффективности способа прокатки, исключающего образование дефекта "драная кромка", провели опытную прокатку на стане 3600 "Азовстали". После прокатки листов размерами 60x2600x10200 мм из слябов 300x1850x3400 мм по новому способу количество поверхностных дефектов на кромках и в прикромочных зонах уменьшилось на (42...97)%. На разработанный способ прокатки получено авторское свидетельство об изобретении. Экономический эффект от внедрения разработанного способа прокатки листов составил 24 тыс.руб.

На основании проведенных исследований разработаны следующие технологические рекомендации:

для обеспечения перепада температуры по толщине на выходе из печи не более $(20...25)^{\circ}\text{C}$ при нагреве слябов температура в верхних зонах печей не должна превышать температуры в нижних зонах;

для уменьшения перепада температуры по толщине по возможности сокращать время нахождения слябов на рольганге до ока-

линоломателя;

при назначении слябов в прокатку припуски на боковую и торцевую обреш определяют дифференцированно в соответствии с разработанными таблицами.

Фактическая экономия металла от внедрения разработанной металлоберегающей технологии в условиях стана 3600 металлургического комбината "Азовсталь" составила 5,7 кг/т.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ литературных источников показал, что поиск технических решений, направленных на улучшение качества металла в прикромочной зоне и формы раскатов, остаются актуальными задачами, так как вопросы дефектообразования и формоизменения в процессе прокатки на толстолистовых реверсивных станах, несмотря на их очевидную важность, изучены недостаточно, что обуславливает значительные резервы по снижению удельного расхода металла на отечественных станах. Авторы известных методик расчета формоизменения узких граней раскатов не учитывали температурный перепад между верхней и нижней гранями, принимали угол наклона боковых и торцевых граней постоянным, а саму грань прямолинейной, пренебрегали переходом боковых граней на контактную поверхность, что не позволяет достаточно точно прогнозировать формоизменение узких граней и дефектообразование в процессе прокатки на толстолистовом стане и требует разработки новой универсальной методики расчета.

2. Выполненные промышленные и лабораторные экспериментальные исследования формоизменения и температурного состояния раскатов позволили для условий прокатки листов на толстолистовых реверсивных станах впервые разработать универсальную методику расчета формоизменения узких граней и величины перехода

дефектов на контактную поверхность. Алгоритм и программа расчета по разработанной методике реализованы на ЭВМ АТ/РС в Донни-чермете и позволяют производить расчет формы узких граней раскатов и величину перехода дефектов на контактные поверхности раскатов, прокатанных по схемам и режимам, включающим произвольное сочетание таких операций, как протяжка, разбивка ширины, продольная прокатка, кантовка. Достоверность разработанной методики показана сравнением расчетных и экспериментальных контуров узких граней раскатов, а также сравнением расчетных величин перехода дефектов на контактные поверхности с экспериментальными, полученными на стане 3600 "Азовстали", и другими авторами на стане 2800 ОХМК. Средняя ошибка в определении площадей контуров узких граней не превышает 2,2%, а полосок перехода - 14%.

3. На базе созданных математических моделей, алгоритма и программы расчета разработан, защищен авторским свидетельством на изобретение и внедрен на стане 3600 способ прокатки толстых листов из слябов, включающий схему с прокаткой в вертикальных валках после разбивки ширины и суммарным обжатием, рассчитанным по разработанному алгоритму, обеспечивающий исключение образования дефекта "рваная кромка".

4. Предложено в реальных условиях прокатки разделять торцевую обрезь на технологически необходимую (2,9% от длины раската), определенную параметрами прокатки, и дополнительную (0,78% от длины раската), обусловленную косиной реза слябов. Выполненные исследования обрезки позволили получить статистические зависимости влияния основных параметров прокатки на формоизменение раскатов.

5. На основании проведенных на промышленном стане исследований и полученных статистических зависимостей разработаны и

внедрены на стане 3600 комбината "Азовсталь" дифференцированные припуски на торцевую и боковую обрезь, учитывающие фактическую форму раскатов, качество прикромочных зон и позволяющие снизить удельный расход металла на 4,8 кг/т. Разработаны рекомендации по уменьшению косины реза и отклонений слябов от номинальных размеров, применение которых позволяет сократить удельный расход металла на (2...3) кг/т и нормы предельных отклонений длины слябов, которые почти в 2 раза меньше по сравнению с действующими.

6. На базе проведенных на стане 3600 исследований дефектообразования раскатов разработана и защищена авторским свидетельством новая форма сляба со скругленными углами. Применение слябов такой формы позволяет избежать появления трещин-закатов на нижней широкой грани.

7. Проведенный комплекс работ позволяет определить его как металлособерегающую технологию производства толстых листов из слябов. Внедрение этой технологии на стане 3600 комбината "Азовсталь" позволило улучшить качество прикромочных зон раскатов, сократить обрезь на 5,7 кг/т и получить экономический эффект в сумме 67,3 тыс.руб. (доля диссертанта - 42,1 тыс.руб.).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ:

1. Коновалов Ю.В., Носов В.Г., Шкурко Н.Н., Пилипенко И.Е. Основные проблемы производства толстолистового проката с катаньями кромками // Пути снижения расхода металла в прокатном производстве: Тез.докл. Отраслевой научно-техн. семинар.- Днепропетровск, 1988.-С.19-20.

2. Коновалов Ю.В., Пилипенко И.Е., Фурман Ю.В., Шкурко Н.Н., Литвиненко С.Н., Стрелец А.А. Использование дифференцированных

припусков на концевую обреш при производстве раскатов на толстолистовых станах // Сталь.- 1991.- №9.- С.41-43.

3. Пилипенко И.Е., Шкурко Н.Н., Парамошин А.П., Попов Н.Н. Разработка режимов прокатки толстых листов с катаной кромкой, обеспечивающих снижение расхода металла на стане 3600 // Ресурсосбережение в производстве листового проката: Тез. докл. Всесоюзн. семинар.- Москва.-ВДНХ.-1990.- С.35-36.

4. А.с. 1692695 СССР МКИ В 21 В 1/22. Способ производства толстых листов // И.Е.Пилипенко, Н.Н.Шкурко, А.П.Парамошин, Н.Н.Попов, М.С.Бабицкий, И.В.Сагиров, Ю.В.Фурман (СССР).- 4 с.: ил.

5. А.с. 1696016 СССР МКИ В 21 В 1/22. Способ прокатки толстых листов // И.Е.Пилипенко, Н.Н.Шкурко, В.Г.Носов, Ю.В.Фурман, М.С.Бабицкий, И.В.Сагиров, В.П.Слепканев, С.К.Устинов (СССР).- 4 с.: ил.

И.Е.Пилипенко

470408

