

**ДОНЕЦКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

**СИНИЦИН Дмитрий Валерьевич**

**РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ  
МЕТАЛЛОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ПРОИЗВОДСТВА ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ И ПЛИТ  
ИЗ ЛИСТОВЫХ СЛИТКОВ БОЛЬШОЙ МАССЫ**

Специальность 05.16.05 — «Обработка  
металлов давлением»

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Работа выполнена на кафедре обработки металлов давлением Донецкого ордена Трудового Красного Знамени политехнического института.

Научный руководитель - заслуженный деятель науки УССР, доктор технических наук, профессор В. М. Клименко.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор М. Я. Бровман, кандидат технических наук Ю. В. Фурман.

Ведущее предприятие - Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича.

Защита состоится 24 декабря 1992 года в 12 часов 00 минут в аудитории 5.353 на заседании специализированного совета Д 068.20.01 в Донецком политехническом институте (340000, г. Донецк, ул. Артема, 58).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого политехнического института.

Автореферат разослан "23" ноября 1992 года.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат технических наук,  
доцент

А. А. Троянский



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность. Новые условия рыночной экономики, постоянное удорожание сырья и материалов, выдвигают для металлургической промышленности на первый план задачу снижения металлоемкости проката черных металлов, одним из эффективных видов которого является толстолистовая сталь.

В настоящее время для производства крупногабаритной толстолистовой стали в качестве исходной заготовки, в основном, используются листовые слитки. Модернизация технологии и оборудования ряда фирм, специализирующихся на производстве крупногабаритных листов, направлена на возврат от слябов к слитковому переделу.

Однако освоение технологии производства и прокатки листовых слитков массой до 30 тонн выявило ряд недостатков, не учтенных при проектировании станов из-за отсутствия достаточных экспериментальных и теоретических данных по выбору конструктивных и технологических параметров слитков. Существенная неравномерность распределения деформации в начальный период прокатки, с одной стороны, а, с другой, - особенности конструкции листового слитка обуславливают значительные потери металла на прокатном переделе.

Вышесказанное определяет необходимость решения задачи минимизации обреза уже на этапе проектирования листового слитка. Идея работы заключается в разработке комплекса рекомендаций, связывающих воедино параметры конструкции слитка и технологию его прокатки для оптимизации процесса производства толстолистовой стали по критерию металлоотходов.

Цель работы. Разработка рациональной конструкции листового слитка и оптимальных технологических режимов его прокатки, обеспечивающих снижение потерь металла при производстве толстолистовой стали. Поставленная цель должна быть достигнута без ухудшения качества металла в слитке.

Научная новизна. Получены зависимости, описывающие влияние донной части листового слитка на характер его формоизменения при прокатке. Разработан алгоритм расчета дополнительных потерь металла, обусловленных донной частью, и определены основные направления оптимизации ее формы. Установлены зависимости для расчета профиля широких граней листового слитка, обеспечивающего устранение клиновидности раската путем его пластического изгиба при прокатке. Предложена методика расчета контура боковой поверхности

слитка, обеспечивающей минимизацию потерь металла при прокатке: для трапецевидной профилировки получена формула для определения угла наклона скосов.

Практическая ценность. Расширены представления об особенностях формоизменения листовых слитков при прокатке, проанализированы основные направления оптимизации их формы. Работа выполнена на уровне изобретений, часть из которых внедрена в производство. Разработаны новые конструкции листовых слитков, регламентирующие форму донной части и профиль поперечного сечения с целью минимизации обрэзи при прокатке. Разработан новый способ прокатки, обеспечивающий приближение формы раската в плане к прямоугольной.

Реализация работы в промышленности. Результаты работы внедрены на толстолистовом стане 5000 производственного объединения "Ижорский завод". Разработан и внедрен в производство листовой слиток массой 10 тонн по авторским свидетельствам СССР на изобретения 1535670 и 1650331 и способ прокатки толстых листов из слитков по а.с. 1577895. Суммарный экономический эффект за счет снижения расходных коэффициентов при прокатке составил 604,8 тыс. рублей.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на Всесоюзной научно-технической конференции "Задачи технического перевооружения листопрокатного производства" (Днепропетровск, 1987), IV Всесоюзной научно-технической конференции "Теоретические проблемы прокатного производства" (Днепропетровск, 1988), республиканском семинаре "Проблемы ресурсосбережения в сфере производства и потребления черных металлов" (Киев, 1988), Всесоюзной научно-технической конференции "Новые технологические процессы прокатки как средство интенсификации производства и повышения качества продукции" (Челябинск, 1989), Всесоюзном семинаре "Ресурсосбережение в производстве листового проката" (Москва, 1990), объединенном научно-техническом семинаре кафедры ОМД ДПИ и прокатных отделов ДонНИИЧерМет (Донецк, 1991-1992).

Публикации. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 8 статьях, получено 6 авторских свидетельств СССР на изобретения.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 103 страницах машинописного текста и состоит из 7 разделов, списка использованной литературы из 164 наименований, содержит 66 рисунков, 23 таблицы и 3 приложения.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Основы современной теории формоизменения листового металла при прокатке в условиях "высоких" очагов деформации заложены в работах А. И. Целикова, А. П. Чекмарева, И. М. Павлова, П. И. Полухина, М. Я. Бровмана, В. М. Клименко, Ф. Е. Долженкова, Ю. В. Коновалова, Э. Л. Филиппова, Ю. И. Юрченко и др.

При производстве толстых листов и плит из листовых слитков конечная форма раскатов, а, следовательно, и потери металла с обрезью определяются, как технологическим режимом прокатки, так и размерами и формой исходной заготовки. Соответственно приблизить форму листов к прямоугольной и сократить расход металла в обрезь можно двумя способами: рационализацией режимов прокатки и оптимизацией формы слитка. Причем, более широкая возможность варьирования формой и размерами слитка, в сравнении с деформационным режимом на существующем прокатном оборудовании, позволяет определить способ оптимизации формы как более эффективный.

Задача компенсации неравномерной деформации при прокатке путем предварительной профилировки элементов конструкции листового слитка решалась Ю. В. Завершинским, И. Д. Куземой, Н. А. Карнаушенко, М. И. Капустиной, Н. Х. Давильбековым, Ф. Е. Долженковым, Ю. В. Полторапавло и др.

Несмотря на то, что многочисленные работы, выполненные в лабораторных и промышленных условиях, существенно расширили объем информации по влиянию исходной формы слитка на потери металла при прокатке, вопросы оптимизации рассмотрены применительно к узкому интервалу варьирования технологией прокатки. Это значительно ограничивает область применения конкретных рекомендаций. До настоящего времени в технической литературе отсутствовали данные по влиянию донной части листового слитка на характер формоизменения раската по этапам прокатки. Известные рекомендации по выбору формы поперечного сечения малоэффективны для слитков массой 10 тонн и более, прокатываемых с широким интервалом варьирования вытяжки в поперечном направлении.

В результате анализа научно-технической и патентной литературы, с учетом собственных исследований, нами выделено шесть основных элементов конструкции листового слитка: прибыль, донная часть (кюмпель), показатели конусности, соотношение габаритов, широкие грани и боковые поверхности, которые оказывают существен-

ное влияние на формирование потерь металла при прокатке. Оптимизацию формы листового слитка прежде всего следует рассматривать как определение рациональных параметров формы тех элементов его конструкции, которые в процессе прокатки являются внешними недеформируемыми зонами и обеспечивают более равномерную вытяжку металла, преимущественно на этапе разбивки ширины.

Конечная цель работы заключалась в выработке конкретных рекомендаций для толстолистого стана 5000 ПО "Ижорский завод". Поскольку форма слитка прежде всего определяется требованиями к качеству исходной заготовки, т.е. условиями разливки и кристаллизации металла в изложнице, область исследований и итоговые рекомендации согласовывались с институтом проблем литья АН УССР.

Для условий стана 5000 были выделены следующие задачи оптимизации формы листового слитка по элементам: для донной части - минимизация разноширинности и неравномерности вытяжки торцов; для широких граней - устранение клиновидности раската; для боковой поверхности - минимизация разноширинности и глубины складок на боковой кромке листа.

В соответствии с вышеизложенным и поставленной целью в работе были решены следующие задачи:

1. Теоретическое и экспериментальное исследование формоизменения листового раската в условиях высоких очагов деформации при наличии внешних недеформируемых зон в виде элементов конструкции листового слитка.
2. Разработка и исследование формоизменения листовых слитков новой формы при прокатке.
3. Разработка новых схем и режимов прокатки толстых листов и плит из слитков.
4. Внедрение листовых слитков новой конструкции и способов их прокатки на толстолистом стане 5000.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОННОЙ ЧАСТИ ЛИСТОВОГО СЛИТКА НА ПОТЕРИ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОКАТКЕ.

Влияние донной части листового слитка на его формоизменение при прокатке исследовано отдельно по этапам прокатки. С учетом того, что при протяжке донный участок тела слитка практически не обжимается, основное внимание уделено этапам разбивки ширины и продольной прокатки до заданных размеров.

Первоначально на этапе разбивки ширины донная часть слитка

не подвергается обжатию (рис. 1) и, являясь боковой внеконтактной зоной, сдерживает вытяжку донного участка до величины:

$$\mu_{\text{ср}} = \mu_{\text{ц}} \mu_{\text{ут}} \quad (1)$$

где  $\mu_{\text{ц}}$  - вытяжка центрального участка раската;

$\mu_{\text{ц}} = H_0/h$ , где  $H_0, h$  - соответственно толщина раската до и после разбивки ширины;

$\mu_{\text{ут}}$  - коэффициент, характеризующий степень сдерживания вытяжки тела слитка кмпелем, для краткости - утяжка.

Величина утяжки определена из условия сплошности раската и равенства работ на удлинение кмпеля и сдерживание вытяжки донного участка слитка:

- при прокатке до толщины  $h > h_K$ , где  $h_K$  - толщина кмпеля в месте контакта с телом слитка

$$\mu_{\text{ут}} = \mu_{\text{ц}}^{-1} (H_0/a h_K + 1) \quad (2)$$

- и при прокатке до толщины  $h < h_K$

$$\mu_{\text{ут}} = (h_K/H_0) \frac{1}{1 + H_0/a h_K} \quad (3)$$

где  $a = q/h_K H_0$ ;  $q$  - площадь продольного сечения кмпеля.

Согласно полученным зависимостям (2,3)  $\mu_{\text{ут}} < 1$ , т. е. кмпель обуславливает большую неравномерность вытяжки слитка в поперечном направлении. Сдерживающий эффект усиливается при увеличении площади сечения кмпеля  $q$  и, в частности, при увеличении его длины  $l$  и угла наклона широких граней  $\beta$ . При увеличении толщины кмпеля первоначально величина утяжки убывает интенсивней (2), однако при вытяжках до толщины  $h < h_K$  в области реальных значений ( $h_K > 0,3H_0$ ) за счет более раннего обжатия кмпеля неравномер-

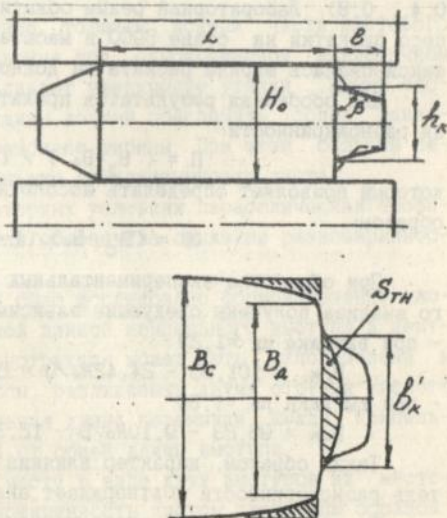


Рис. 1. Формоизменение листового слитка на этапе разбивки ширины.

ность вытяжки центрального и донного участка раската убывает (3).

Ширина донного участка раската после разбивки ширины равна:

$$B_d = B_0 \mu_z (1 - (1 - \mu_{yT}) b_K / B_0), \quad (4)$$

где  $B_0$  - начальная ширина раската;  $b_K$  - ширина донной части.

Разноширинность, обусловленная кмпелем равна:

$$\delta B_K = b_K \mu_z (1 - \mu_{yT}). \quad (5)$$

Утяжка в направлении прокатки приводит к вынужденному уширению, наплывам металла из тела слитка в зону донной обреза, площадь которых равна:

$$S_{TH} \approx H_0 \cdot \delta B_K. \quad (6)$$

Проверка полученных зависимостей осуществлялась в лабораторных условиях с использованием методики планирования экспериментов по плану  $2^3$ . Донная часть иммитировалась выступами на торцах свинцовых моделей 32x82x100 и 44x82x100 мм. В качестве факторов, определяющих разноширинность, выбраны относительная толщина раската до прокатки  $H_0/D$ , где  $D = 55$  мм - диаметр рабочих валков лабораторного стана 250, относительная ширина  $b_K/B_0$  и толщина  $h_K/H_0$  кмпеля в месте контакта с телом слитка (интервал варьирования факторов соответственно 0,58...0,81; 0,4...0,8 и 0,4...0,8). Лабораторный режим обжатий моделировал реальный процесс прокатки на стане 5000 в масштабе 1:20. В процессе прокатки фиксировалась ширина раската на донном участке  $B_d$  и по центру  $B_C$ .

Для обобщения результатов прокатки введено понятие показателя разноширинности:

$$\Pi = (B_d - B_0) / (B_C - B_0), \quad (7)$$

который позволяет определить абсолютную разноширинность следующим образом:

$$\delta B = (B_C - B_0) / (1 - \Pi) = (B_d - B_0) / \left( \frac{1}{\Pi} - 1 \right). \quad (8)$$

При обработке экспериментальных данных методом регрессионного анализа получены следующие зависимости:

- при вытяжке  $\mu_z = 1,23$

$$\Pi_{1*} = 101,96 - 24,42 H_0 / D - 6,93 b_K / B_0 - 1,08 h_K / H_0, \quad (9)$$

- при вытяжке  $\mu_z = 1,80$

$$\Pi_{2*} = 95,23 - 9,10 H_0 / D - 12,32 b_K / B_0 + 6,97 h_K / H_0. \quad (10)$$

Таким образом, характер влияния габаритов кмпеля на показатель разноширинности подтверждает аналитические зависимости (2,3).

На заключительном этапе прокатки кмпельный выступ является внешней зоной при деформации годной части раската, что препятс-

тует веерообразному уширению концов и компенсации накопленной ранее бочкообразности. Согласно результатам лабораторных исследований разноширинность листа при этом возрастает на величину:

$$\delta B' = \Delta B (b'_K / B_D)^2, \quad (11)$$

где  $\Delta B$  - величина веерообразного уширения концов при прокатке слябов;

$b'_K$  - ширина кмпеля после этапа разбивки ширины,  $b'_K = b_K \cdot \mu_K \cdot \mu_{UT}$ .

Совокупный анализ полученных зависимостей, обобщенных в виде алгоритма расчета дополнительных потерь металла, обусловленных донной частью листового слитка, позволил выявить следующие направления оптимизации ее размеров и формы: минимизация ширины и площади продольного сечения, а именно - уменьшение угла наклона широких граней и длины кмпельного выступа, переменный угол наклона широких граней (рис. 1, пунктир); увеличение толщины кмпеля в месте контакта с телом слитка.

При исследовании влияния формы поперечного сечения кмпеля на характер вытяжки слитка при прокатке была проанализирована зависимость (3). В области реальных значений ( $h_K > 0,3H_0$ ) функция  $\mu_{UT}$  - возрастающая с ускорением, т.е.

$$\mu_{UT} | h_K + \delta h_K + \mu_{UT} | h_K - \delta h_K > 2\mu_{UT} | h_K \quad (12)$$

Таким образом, увеличение толщины донной части листового слитка на одном участке по ширине при одновременном аналогичном уменьшении на другом обуславливает увеличение утяжки. Иными словами, кмпель переменной толщины должен обеспечить более равномерную вытяжку раската при разбивке ширины. При этом больший перепад толщин обеспечивает меньшую разноширинность листа.

Опробованная в лабораторных условиях параболическая профилировка широких граней кмпеля обеспечила снижение разноширинности листов на 18...26%.

В лабораторных условиях было исследовано формоизменение листовых слитков с уменьшенной длиной кмпельного выступа в центральной его части. Такая конструкция может быть использована в листовых слитках большой массы, разливаемых двумя струями жидкого металла. Установлена оптимальная длина перемычки между кмпельными выступами: не более 0,4 от общей длины выступа.

Для конструкции донной части в виде двух выступов их месторасположение определяет разноширинность листов следующим образом:

$$\delta B = -3,41 - 2,15\mu_K + 0,30\gamma + 5,90\mu_K^2 - 0,22\mu_{ar} - 0,002\gamma^2, \quad (13)$$

где  $g$  - расстояние от кмпельного выступа до края слитка.

Таким образом, расстояние  $g$  должно выбираться в зависимости от величины вытяжки слитка в поперечном направлении. При малых вытяжках кмпельные выступы должны непосредственно примыкать к боковым граням слитка, а при  $\mu > 1,3$  выступы должны размещаться за пределами выпуклости боковой поверхности, т.е. должно выполняться условие:

$$g > E, \quad (14)$$

где  $E$  - величина выноса боковой поверхности слитка.

В результате проведенных исследований разработаны признанные изобретениями конструкции листовых слитков, регламентирующие форму продольного и поперечного сечений кмпеля, с целью минимизации потерь металла в обрезь за счет приближения формы раската к прямоугольной.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ЛИСТОВОГО СЛИТКА.

При отсутствии в составе оборудования толстолистового стана клетки с вертикальными вальками основная задача, которую должна решать профилировка широких граней - устранение клиновидности раскатов. Поставленная цель эффективно достигается за счет неравномерного по длине пластического изгиба исходного профиля, что конструктивно решается формой листового слитка с одной выпуклой и противоположной вогнутой широкой гранью (рис. 2).

Длина участка АВ определяется совместным решением неравенств:

$$\begin{cases} e/V_0 > 1/(4,62 d/H_d) + 0,25 f_y, & (15) \\ e/V_0 < 0,5 - 1,17 d/V_d, & (16) \end{cases}$$

где  $e$  - плечо действия силы прокатки;

$f_y$  - коэффициент трения между металлом и валком.

Здесь первое неравенство получено из условия пластического изгиба сечения CD моментами от силы прокатки и сил трения, а второе - из гипотезы о постепенном увеличении нормального давления от нуля в точке В до максимума в точке А. Результаты лабораторного эксперимента на свинцовой модели ( $V_0=96,5\text{мм}$ ;  $F=0,1H_d$ ;  $f_y=0,28$ ;  $V_0/H_d=2,4$ ) подтвердили расчетный интервал  $d/V_0 = 0,13 \dots 0,24$  по (15, 16).

Лабораторное опробование слитка с выпукло-вогнутой формой широких граней показало снижение клиновидности раскатов на 75... 80%

Однако использование такой профилировки в условиях стана 5000 затруднительно вследствие высокого процента отбраковки металла из-за поверхностных трещин. Поэтому совместно с ИЛ АН УССР была разработана выпуклая профилировка широких граней, устойчивая к трещинообразованию. Для снижения клиновидности проката в основу конструкции положены следующие решения: меньшая конусность широких граней по краям и большая в центре; переменная ширина выпуклого центрального участка, увеличивающаяся от донной к при-

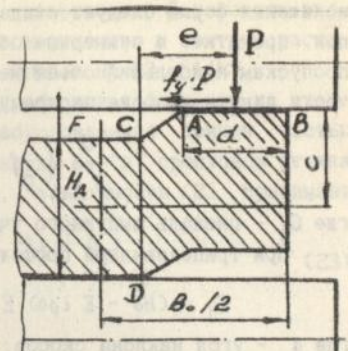


Рис. 2. Схема сил, действующих на выпукло-вогнутый профиль при прокатке.

быльной части слитка. В общем случае предложенный профиль широкой грани слитка может быть описан следующим уравнением:

$$F_i = (0,03 \dots 0,17)H_d + (0,01 \dots 0,03)L_i \quad (17)$$

где  $F_i$  - величина выпуклости широкой грани в сечении, находящемся на расстоянии  $L_i$  от донной части;

$H_d$  - толщина тела слитка в узкой части.

При лабораторных испытаниях слитка данной конструкции клиновидность раскатов снизилась на треть.

Проблема оптимизации формы боковой поверхности листового слитка с учетом широкого интервала варьирования вытяжки в поперечном направлении решена следующим образом: величина выноса боковой поверхности выбирается максимальной из учета прокатки "широких" листов, а форма поверхности обеспечивает минимальные потери и при прокатке "узких", т.е. при малых вытяжках по ширине. Выпуклый участок боковой поверхности является внешней недеформируемой зоной при прокатке слитка на этапе разбивки ширины и принудительно выравнивает вытяжку металла по сечению раската. Наименьшие

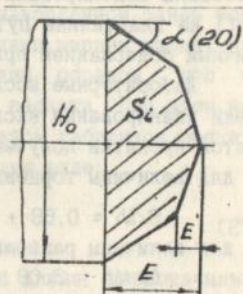


Рис. 3. Форма боковой поверхности слитка.

искажения формы следует ожидать при такой профилировке, которая при прокатке с суммарным обжатием  $\Delta h_{\Sigma}$  обеспечивает в сумме по пропускам наибольший объем металла в выпуклом участке. Математически данное условие экстремума может быть записано в виде:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} \left[ \int_0^{\Delta h_{\Sigma}} S_i dh \right] = 0, \quad (18)$$

где  $S_i$  - площадь выпуклого участка до прокатки.

При трапецевидной профилировке широких граней:

$$S_i = (H_0 - E \operatorname{ctg} \alpha) \cdot E - \left( H_0 - \frac{\Delta h}{2} \right) \frac{\Delta h}{2} \operatorname{ctg} \alpha, \quad (19)$$

где  $\alpha$  - угол наклона скосов, оптимальная величина которого согласно (18):

$$\alpha_{\text{опт}} = \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\Delta h_{\Sigma} (H_0 - \Delta h_{\Sigma} / 3)}{4 E^2}} \quad (20)$$

что подтверждено результатами лабораторных экспериментов.

Итоговые рекомендации к форме боковой поверхности листового слитка представлены на рис. 3, где  $E = (0,3 \dots 0,4) H_0$ ;  $E' = (0,2 \dots 0,4) E$ .

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ НА ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ ЛИСТОВОГО РАСКАТА.

В лабораторных условиях произведена оценка влияния интенсификации процессов деформации путем подстуживания поверхности раскатов при прокатке на характер его формоизменения. Разработана методика моделирования перепада температур по сечению раската ( $\Delta t$ ) на пластилине путем послойного изготовления образцов с различным содержанием присадок в слоях.

Лабораторные исследования проводились с использованием методики планирования эксперимента по плану  $2^3$ . При обработке результатов прокатки получены следующие корреляционные зависимости:

- для величины торцевых наплывов:

$$З/\Delta h = 0,68 + 4,36 H_0/D - 47,78 \Delta h/D - 0,0018 \Delta t, \quad (21)$$

- для величины разноширинности:

$$\delta B/\Delta h = 2,08 + 0,57 H_0/D - 50,07 \Delta h/D - 0,0004 \Delta t. \quad (22)$$

Интервал варьирования факторов ( $H_0/D$ ;  $\Delta h/D$ ;  $\Delta t$ ) соответственно равен  $0,47 \dots 0,73$ ;  $0,018 \dots 0,036$  и  $0 \dots 230^\circ$ .

Таким образом; интенсификация процессов деформации путем подстуживания поверхности раската наиболее существенное влияние

оказывает на формоизменение торцевых поверхностей. В условиях эксперимента перепад температур между поверхностью и центром раската в  $230^\circ$  снизил величину вогнутости торцов на 10...14%.

Установлено, что с увеличением дробности деформации на этапе разбивки ширины разноширинность, обусловленная донной частью слитка (5), увеличивается. При прокатке за "n" пропусков утяжка накапливается от пропуска к пропуску, зависимость (2) принимает вид:

$$\mu_{\text{ут}\Sigma} = \prod_{i=1}^n \mu_i^{-1/(1 + H_{i-1}^2 / (K_{\Phi} \cdot l \cdot h_k))} \quad (23)$$

где

$$\prod_{i=1}^n \mu_i = \mu_2$$

При одинаковой вытяжке  $\mu_{\text{ут}\Sigma} < \mu_{\text{ут}}$ , что подтверждено результатами лабораторных экспериментов.

В лабораторных условиях на пластилиновых образцах исследовано формоизменение листового раската при прокатке по схеме "на угол". Установлено, что минимальные искажения формы концевых участков раската обеспечивает угол задачи  $45^\circ$ : при меньших значениях раскат приобретает бочкообразную форму, при больших - концы раската уширяются на величину (при масштабе моделирования 1:20):

$$\delta B'' = \mu (1,77 H_0 / D + 0,031 \omega - 1,84) \quad (24)$$

где относительная толщина раската  $H_0 / D$  варьировалась в интервале 0,25...0,64, а угол задачи раската в валки  $\omega$  -  $45^\circ$ ... $90^\circ$ .

С учетом полученной зависимости была предложена новая схема прокатки листового слитка. Для компенсации накопленной ранее бочкообразности на заключительной стадии разбивки ширины раскат задают в валки под углом, превышающим  $45^\circ$  таким образом, что бы первоначально деформировался донный участок раската. При этом негативное влияние кюмпеля исключается. С учетом габаритов раската данное условие может быть записано в следующем виде:

$$\frac{B_d - b_k}{2l} > \text{tg } \omega > 1 \quad (25)$$

Эффективность способа увеличится, если длина первоначально деформируемого участка раската будет соответствовать длине полной внешней зоны:

$$l' \approx \left[ \frac{B_d - b_k}{2} \text{ctg } \omega - l \right] \sin \omega > (0,5 \dots 1,5) l_d \quad (26)$$

где  $l_d$  - длина очага деформации при прокатке.

Момент начала прокатки по предложенной схеме определяется из условия задачи раската в валки (по габариту) на вторую диагональ:

$$B'' = l_0 \mu_a \frac{\sin \alpha / 90}{\cos \alpha / 90} + b_0 \mu_a \frac{1 - \sin \alpha / 90}{\sin \alpha / 90} < L_0, \quad (27)$$

где  $L_0$  - длина рабочей части бочки валков стана

Лабораторная прокатка слитков по предложенному способу обеспечила снижение разноширинности листов на 36%.

### ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОКАТКИ ЛИСТОВЫХ СЛИТКОВ НОВОЙ ФОРМЫ.

С учетом полученных нами зависимостей (2,3,5) были проанализированы параметры донной части листовых слитков ПО "Ижорский завод". Установлено, что наиболее неблагоприятная по условиям формоизменения раската при прокатке - форма кмпеля у листового слитка массой 34,6 т. Минимальная относительная толщина кмпеля, максимальная длина и угол наклона широких граней приводят к резкому увеличению разноширинности толстолистового проката.

Для устранения указанных недостатков был разработан поддон новой конструкции. Кмпельные выступы выполнены в виде усеченных конусов, длина перемычки между ними уменьшена на 50 мм, снижен угол наклона широких граней. Кмпель выполнен переменной толщиной, увеличенной на выступах (табл. 1).

Таблица 1.

Параметры донной части листового слитка массой 34,6 т.				
	$h_k / H_0$	$l / H_0$	$\beta$ , град	$\mu_{ут}$ (3)
Серийный	0,65	0,46	66	0,93
Опытный	выступы : 0,85	: 0,46	: 49	: 0,97
	перемычка : 0,69	: 0,40	: 49	: 0,95

При промышленной прокатке нового слитка с усовершенствованной конструкцией донной части разноширинность толстых листов снизилась в среднем на 10...20%.

Рекомендации к форме донной части были использованы при проектировании нового листового слитка массой 32 т, предназначенного для прокатки по поперечной схеме. С учетом преимущественной

вытяжки слитка в направлении ширины негативное влияние компеля максимально снижено за счет перехода к конструкции в виде двух выступов при уменьшении их длины до  $l/H_0 = 0,23$ . Соблюдено условие расположения выступов за пределами выпуклости боковой поверхности слитка (14):  $g > E$ .

Несмотря на существенное увеличение толщины слитка массой 32 т по сравнению с 34,6 т (с 780 мм до 1080 мм), за счет рациональной конструкции донной части, интенсивность роста разноширинности раскатов в процессе прокатки снизилась на 50%. С учетом изложенных в работе рекомендаций к форме поперечного сечения спроектирован и внедрен в производство листовой слиток массой 10 т. Параметры формы нового слитка приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2.

Параметры формы боковой поверхности листового слитка массой 10 т.

$H_0$ , мм	$E$ , мм	$E'$ , мм	$E/H_0$	$E'/E$	$\alpha$ (20) при $\mu_2=2,5$ , град
410	150	50	0,37	0,33	41

Таблица 3

Параметры формы широких граней листового слитка массой 10 т.

$H_{д'}$ , мм	$F_{д'}$ , мм	$F_{п'}$ , мм	$F_{д'}/H_{д'}$ , %	Конусность по краям, %	Конусность по центру, %
420	30	50	7,1	2,7	1,1

Опыт прокатки слитков выявил ряд их преимуществ: в среднем на 20...30% снизилась разноширинность листов и в среднем вдвое сократилась отбраковка металла по трещинам на прокате.

На толстолистовом стане 5000 внедрен новый способ прокатки, регламентирующий углы задачи раската в валки согласно зависимостям (25...27). Промышленные исследования листов, прокатанных по данному способу показали снижение разноширинности в среднем на 10...15%.

Усовершенствование конструкции листовых слитков для ТЛС 5000 ПО "Ижорский завод" и внедрение нового способа прокатки толстых листов из слитков позволило сократить потери металла с обрезью за счет приближения формы раскатов к прямоугольной. За счет снижения расходных коэффициентов получен экономический эффект 604,8 тыс. рублей.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.

1. На основании анализа научно-технической и патентной литературы установлено, что ограниченная возможность варьирования технологическим режимом прокатки предопределяет необходимость решения задачи минимизации потерь металла с обрезью уже на этапе проектирования конструкции листовых слитков.

2. Систематизировано влияние комплекса элементов конструкции листового слитка (прибыль, донная часть, показатели конусности, соотношение габаритов, широкие грани и боковые поверхности) на конечные потери металла с обрезью. Оптимизацию формы листового слитка прежде всего следует рассматривать как определение рациональных параметров формы тех элементов его конструкции, которые в процессе прокатки являются внешними недеформируемыми зонами (боковая поверхность, кюмпель), и обеспечивают более равномерную вытяжку металла, преимущественно на этапе разбивки ширины.

3. Получены аналитические зависимости, описывающие влияние донной части листового слитка на характер его формоизменения при прокатке. Предложена методика расчета дополнительных потерь металла в обрезь, обусловленных наличием кюмпеля, определены основные направления оптимизации его формы.

4. Получены зависимости для расчета профиля широких граней листового слитка, обеспечивающего устранение клиновидности раската путем неравномерного по длине пластического изгиба слитка на этапе протяжки.

5. Предложена методика расчета контура боковой поверхности слитка, обеспечивающего минимизацию потерь металла при прокатке: для трапецевидной профилировки получена формула для определения угла наклона скосов.

6. На уровне изобретений разработаны конструкции листовых слитков, регламентирующие форму донной части, широких граней и боковой поверхности, с целью уменьшения потерь металла в обрезь за счет приближения формы раската в плане к прямоугольной.

7. В лабораторных условиях исследовано влияние температурно-деформационного режима и схем прокатки на характер формоизменения листового раската. Снижение потерь металла в обрезь обеспечивается интенсификацией деформационных процессов за счет увеличения разовых обжатий и создания градиента температур по сечению раската.

8. Разработан, защищенный авторским свидетельством на изобретение

речение способ прокатки толстых листов из слитков, регламентирующий угол задачи раската в валки на этапе разбивки ширины. Сокращение потерь металла с обрезью достигается путем устранения негативного влияния кмпеля слитка на процесс формирования разноширинности раската.

9. Промышленные исследования результатов прокатки листовых слитков массой 10, 32, и 34,6 т с предложенными изменениями формы соответственно годной части и кмпеля, а также нового способа прокатки слитков показали снижение разноширинности толстолистового проката в среднем на 15...30%. На слитке массой 10 т в среднем вдвое сократилась отбраковка металла по трещинам. Это позволило на части сортамента перейти к использованию в качестве исходной заготовки слитков меньшей массы и, в итоге, снизить расходный коэффициент металла при прокатке на 90...110 кг на тонну проката.

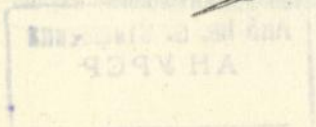
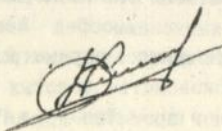
10. Внедрение разработанных мероприятий (листовой слиток по а.с.1535670 и 1650331 и способ прокатки по а.с.1577895) на стане 5000 производственного объединения "Ижорский завод" позволило получить экономический эффект 604,8 тыс. рублей за счет снижения расходных коэффициентов при прокатке толстых листов и плит, доля автора - 112 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Системный подход при разработке технологии производства плит из листовых слитков / В.М. Клименко, Ю.И. Юрченко, Д.В. Сеницин и др. // Известия вузов. Черная металлургия. -1990. -N10. -С. 29-30.
2. Исследование влияния донной части листового слитка на формирование боковой обрезки при прокатке / В.М. Клименко, Ю.И. Юрченко, Д.В. Сеницин и др. // Известия вузов. Черная металлургия. -1991. -N6. -С. 38-41.
3. Юрченко Ю.И., Сеницин Д.В., Филиппов Э.Л. Исследование формоизменения листовых слитков с двойным кмпелем при прокатке // Известия вузов. Черная металлургия. -1990. -N8. -С. 107.
4. Юрченко Ю.И., Сеницин Д.В., Филиппов Э.Л. Исследование путей снижения клиновидности при прокатке толстолистовой стали. Донецкий политехн. ин-т. - Донецк, 1989. -4с. -Деп. в Черметинформации 10.01.89, N4926-чм 89.
5. Исследование влияние технологических параметров прокатки на величину расхода металла при производстве толстых листов / Э.Л. Филиппов, Ю.И. Юрченко, Д.В. Сеницин и др. // Тез. докл. Всесоюзн. научно-

АН УРСР

- техн. конф. "Задачи технического перевооружения листопрокатного производства" (Днепропетровск, 1987). - Днепропетровск, 1987. - С. 19.
6. Юрченко Ю. И., Джанджгава В. А., Синицин Д. В. Разработка методики моделирования процесса прокатки с неравномерным распределением температуры по сечению раската // Тез. докл. IY Всесоюзн. науч.-техн. конф. "Теоретические проблемы прокатного производства" (Днепропетровск, 1988). - Днепропетровск, 1988. - часть 1. - С. 95.
7. Синицин Д. В., Балагул С. Д., Юрченко Ю. И. Исследование и разработка способов прокатки листовых слитков с интенсификацией процессов деформации // Тез. докл. Всесоюзн. науч.-техн. конф. "Новые технологические процессы прокатки как средство интенсификации производства и повышения качества продукции" (Челябинск, 1989). - Челябинск, 1989. - часть 1. - С. 31-32.
8. Клименко В. М., Юрченко Ю. И., Синицин Д. В. Особенности формоизменения листовых слитков при прокатке // Тез. докл. Всесоюзн. семинара "Ресурсосбережение в производстве литового проката" (Москва, 1990). - Донецк, 1990. - С. 31-32.
9. А. с. 1535670, СССР, МКИ В 22 D 7/00 /Слиток/ В. М. Клименко, Ю. И. Юрченко, Д. В. Синицин и др. (СССР). - N4372534/31-02; Заявл. 14. 10. 87; Опубл. 15. 01. 90, Бюл. N2. - 4с.
10. А. с. 1577895, СССР, МКИ В 21 В 1/38 /Способ прокатки толстых листов из слитков/ В. М. Клименко, Ю. И. Юрченко, Д. В. Синицин и др. (СССР). - N4468610/31-02; Заявл. 25. 08. 88; Опубл. 15. 07. 90, Бюл. N26. - 2с.
11. А. с. 1650331, СССР, МКИ В 22 D 7/00 /Листовой слиток/ В. М. Клименко, В. А. Ефимов, Д. В. Синицин и др. (СССР). - N4217437/222-02; Заявл. 25. 03. 87; Опубл. 23. 05. 91, Бюл. N19. - 4с.
12. А. с. 1678467, СССР, МКИ В 21 В 1/00 /Слиток/ В. М. Клименко, Ю. И. Юрченко, Д. В. Синицин и др. (СССР). - N4752989/02; Заявл. 23. 10. 89; Опубл. 23. 09. 91, Бюл. N14. - 3с.
13. А. с. 1704906, СССР, МКИ В 22 D 7/00 /Листовой слиток/ В. М. Клименко, Ю. И. Юрченко, Д. В. Синицин и др. (СССР). - N4804079/02, Заявл. 23. 01. 90; Опубл. 15. 01. 92, Бюл. N2. - 4с.
14. А. с. 1720785, СССР, МКИ В 22 D 7/00 /Листовой слиток/ В. М. Клименко, Ю. И. Юрченко, Д. В. Синицин и др. (СССР). - N4793652/02, Заявл. 19. 02. 90; Опубл. 23. 03. 92, Бюл. N11. - 3с.



---

одп. в печать 11.4.92 Формат 60×84<sup>1/16</sup>. Бумага *серый цвет* Офсетная печать.  
сл. печ. л. 0,93 . Усл. кр.-отт. 1,16 . Уч.-изд. л. 30 . Тираж 30 экз.  
каз № 3-67. Бесплатно.

Донецкий политехнический институт, 340000, Донецк, ул. Артема, 58.

---

ДМПП, 340050, Донецк, ул. Артема, 96

468814

Ab 26.033

**Ab 26.033**