

**ДОНЕЦКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

ЕГОРОВ Анатолий Иванович

**РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ И ОСВОЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ
С ПРИМЕНЕНИЕМ УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
НА ПРОМЕЖУТОЧНОМ РОЛЬГАНГЕ СТАНА**

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

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00819700 (P)

ЛІТОВСЬКА НАУКОВА АКАДЕМІЯ

ВІСНИК НАУКОВОЇ АКАДЕМІЇ
ЛІТОВСЬКОЇ НАУКОВОЇ АКАДЕМІЇ
СЕРІЯ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ
НА ПРАЙМЖУРНАЛНОМУ РОЗВ'ЯЗАННІ СТАТІ

Літосфера Литви — «Огляд» наукової роботи

ЛІТОВСЬКА НАУКОВА АКАДЕМІЯ

ВІСНИК НАУКОВОЇ АКАДЕМІЇ
ЛІТОВСЬКОЇ НАУКОВОЇ АКАДЕМІЇ
СЕРІЯ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ

ЛІТОВСЬКА НАУКОВА АКАДЕМІЯ

ДОНЕЦКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ЕГОРОВ Анатолий Иванович

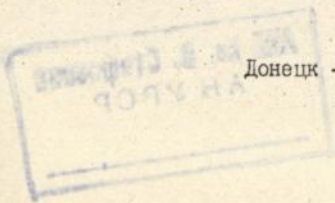
РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ И ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОКАТКИ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСКОРЕННОГО
ОХЛАЖДЕНИЯ НА ПРОМЕЖУТОЧНОМ РОЛЬБАНГЕ СТАНА

Специальность 05.16.05. - "Обработка металлов давлением"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Донецк - 1992



Работа выполнена в Донецком научно-исследовательском институте черной металлургии.

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

Официальные оппоненты - доктор технических наук М.Я.Бровман, кандидат технических наук Э.Л.Филиппов..

Ведущее предприятие - Донецкий металлургический завод.

Защита состоится " ____ " _____ 199__ года
в ____ часов ____ минут на заседании специализированного
совета Д 068.20.01 Донецкого политехнического института, адрес:
340066, Донецк, ул.Артема, 58, 5-й учебный корпус, аудитория 353.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого политехнического института.

Автореферат разослан " ____ " _____ 199__ года.

Ученый секретарь
специализированного совета

А.А.Троянский



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Выпуск толстых листов с заданными механическими свойствами предусматривает строгую регламентацию температурно-деформационных режимов прокатки. На отечественных толстолистовых станах обеспечение необходимой температуры конца деформации при прокатке по регламентированным режимам достигается выдержкой раскатов на воздухе в линии основного технологического потока. Применение данной технологии охлаждения приводит к снижению экономических и технологических показателей работы станов. Опыт освоения ускоренного охлаждения на промежуточном рольганге стана в отечественной практике отсутствует.

В связи с этим, для разработки усовершенствованной технологической схемы регламентированной прокатки необходимо решение комплекса задач управления качеством толстых листов. Изложенное свидетельствует об актуальности исследований процесса прокатки с использованием установки ускоренного охлаждения (УУО) на промежуточном рольганге стана.

Цель работы. Разработка технологии прокатки толстых листов с применением ускоренного охлаждения на промежуточном рольганге, обеспечивающей повышение их качества.

Научная новизна. Разработана математическая модель расчета энергосиловых параметров прокатки на базе разрывного поля скоростей течения металла, включающая определение "подстуженного слоя" после деформации листа с перепадом температуры по сечению.

Уточнена и дополнена новыми граничными условиями математическая модель расчета теплового состояния толстых листов в процессе прокатки.

Разработан новый способ снижения продольной разнотолщинности листов с использованием ускоренного охлаждения в потоке стана, защищенный авторским свидетельством.

Практическая ценность. Разработана методика расчета режимов прокатки толстых листов с применением УУО на промежуточном рольганге стана.

Освоена технология регламентированной прокатки, обеспечивающая повышение прочностных свойств металла и производительности стана за счет сокращения междеформационной паузы.

Реализация работы в промышленных условиях. Основные положения работы изложены в технологической инструкции "Эксплуатация установ-ки ускоренного охлаждения за черновой клетью стана 3600" металлургического комбината "Азовсталь". Освоение усовершенствованной технологии регламентированной прокатки на стане 3600 позволило повысить производительность стана в среднем на 4 % и увеличить объем производства листов из стали марки О9Г2С по более высоким классам прочности по ГОСТ 19281-89. Ожидаемый экономический эффект - 251 тыс.руб.

Апробация работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на: Всесоюзной научной конференции "Обобщение опыта молодых ученых, инженеров и рабочих отрасли по экономии материальных и вторичных ресурсов", Донецк, 1989 г., Всесоюзной отраслевой встрече "Научно-техническое творчество молодежи в области развития научно-технического прогресса в черной металлургии", Москва, 1986 г., объединенном научном семинаре кафедры ОМД ДПИ и отделов прокатного производства Донничермет, Донецк, 1991, 1992 гг.

Публикации. По материалам работы опубликовано 3 статьи и получено 2 авторских свидетельства.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ литературных источников показал, что при прокатке толстых листов с регламентированной температурой конца деформации факторами, влияющими на комплекс технико-экономических показателей работы стана являются степени деформации в черновой и чистой клетях; время выдержки между деформациями и связанная с ним температура конца прокатки ($T_{кп}$); а также химический состав стали. Установлено, что влияние междеформационной паузы на механические свойства проката изучено недостаточно полно, а существующие исследования носят противоречивый характер. В ряде исследований отмечается необходимость разработки новых способов снижения разнотолщинности листов, учитывающих особенности прокатки с заданной $T_{кп}$.

Анализ технических решений по снижению времени выдержки между последовательными деформациями показал, что наиболее рациональным средством управления междеформационной паузой является ускоренное охлаждение за черновой клетью стана с применением в качестве охладителя водо-воздушной смеси. Технология такой прокатки не разработана, отсутствуют анализ возможных областей применения душирования подкатов и опыт освоения технологии регламентированной прокатки с использованием УУО на промежуточном роллганге.

Разработка новой технологии регламентированной прокатки приводит к необходимости учета градиента температуры по толщине листа при расчете энергосиловых параметров. Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволяют в настоящее время решить практически любую задачу по расчету теплового и напряженно-деформированного состояния листов. Вместе с тем, реше-

ния существующими методами в недостаточной степени учитывают степень влияния толщины "подстуженного" слоя на температурные и энергосиловые параметры процесса прокатки.

Таким образом исходя из анализа технической литературы для достижения выбранной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

выявить влияние теплового состояния раскатов на уровень качества толстых листов и определить необходимые количественные характеристики для применения ускоренного охлаждения на промежуточном рольганге стана;

разработать модели расчета тепловых и энергосиловых параметров процесса прокатки с неравномерным распределением температуры по длине и толщине листа;

разработать и освоить технологию прокатки толстых листов с использованием УУО за черновой клетью стана.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ РАСКАТОВ НА УРОВЕНЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ

Комплексные исследования влияния теплового состояния раскатов на уровень технологических показателей производства толстых листов, проведенные на станах 3600 комбината "Азовсталь", 3000 комбината им. Ильича и 2800 ЧерМК, включали:

исследование температурного состояния голстолистого проката;

анализ уровня механических свойств голстых листов;

исследование разнотолщинности раскатов;

оценку производительности стана.

В процессе исследований получены количественные характеристики и определены возможные области применения душирования раскатов на промежуточном рольганге стана, являющиеся исходными

данными для разработки технологии прокатки с ускоренным охлаждением.

Оценка температурного состояния раскатов в процессе прокатки показала следующее:

размах колебаний температуры конца прокатки для листов, прокатываемых по регламентированным режимам находится в пределах (15...30) °С для стана 3600 и (40...60) °С для стана 2800, причем по стану 2800 с учетом среднеквадратического отклонения температур конца деформации в чистовой клетке (6...9) °С отмечено превышение $T_{кп}$ на (30...100) °С рекомендуемой по действующей технологии;

по стану 3600 отмечена нестабильность температуры (в диапазоне толщин 10...18 мм) по длине листа в пределах (40...60) °С на раскатах четырех- и шестикратной длины;

замеры температуры по ширине листа на стане 2800 позволили установить, что при увеличении ширины на каждые 500 мм в диапазоне ширины листов (1500...2534) мм температурный перепад увеличивается на (2...3) °С. С увеличением толщины листа перепад температуры снижается на (1...2) °С на каждый миллиметр при одной и той же ширине листа.

Анализ уровня механических свойств толстых листов позволил установить:

При поставке всего сортамента проката из стали 09Г2С по классу 345 ГОСТ 19281-89 низкие значения прочностных свойств (пределов текучести и прочности) приводят к отсортировке листов в пределах (80...90) % по более низким классам прочности. Структурный анализ показал, что доля предела текучести по данному признаку отсортировки составляет от 30 (стан 2800 ЧерМК) до 50 % (стан 3600 комбината "Азовсталь").

По температуре конца прокатки наблюдается тенденция повышения

механических свойств в среднем на (6...8) % при понижении $T_{кп}$ до (860...820) °С для всех диапазонов толщин листов. Анализ кривых плотности распределения относительного удлинения показал, что существует резерв снижения значения δ_5 по классу 345 ГОСТ 19281-89 на (6...10) %. В сопоставимом интервале толщин (до 26 мм) значения прочностных свойств листов, прокатанных на стане 3600 выше соответствующих показателей станов 3000 и 2800 на (1...4) %. Установлено, что превышение температуры конца прокатки над рекомендуемой на каждые 10 °С приводит к снижению прочностных свойств в среднем на 2 Н/мм²;

установлено, что для листов, прокатываемых по регламентированным режимам происходит перераспределение составляющих разнотолщинности в общей дисперсии отклонения толщины листов от среднего значения. Доля продольной составляющей составляет в этом случае в среднем 40 %, а изменение температуры раската перед чистой клетью на 1 °С приводит к изменению средней толщины готовых листов до 0,009 мм; выявлено, что выравнивание температуры по ширине листа приводит к снижению поперечной разнотолщинности на (0,05...0,08) мм;

анализ производительности стана 3600 показал, что простой чистой клетки, определяемый интервалом между концом и началом прокатки двух смежных раскатов составляет (7...14) с. Загрузка клетки в этом случае находится в пределах (84...92) %. Время охлаждения раскатов на промежуточном рольганге для достижения температуры конца прокатки (800...900) °С составляет (80...30) с.

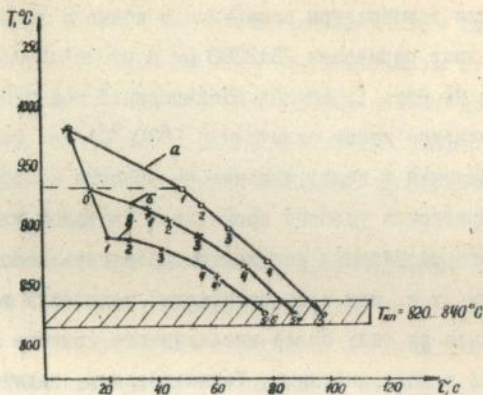
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ПРОКАТКИ С НЕРАВНОМЕРНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО
ДЛИНЕ И ТОЛЩИНЕ ЛИСТА

Типовой пример результатов экспериментальных исследований динамики изменения температуры поверхности подката толщиной 60 мм при прокатке на лист размерами 25х2000 мм в чистовой клети стана 3600 представлен на рис. I. Анализ исследований показывает, что одинаковая температура конца охлаждения (930°C) для вариантов ускоренного охлаждения и подсуживания на воздухе не обеспечивает идентичных температурных условий прокатки в чистовой клети. В случае ускоренного охлаждения необходимо затратить дополнительное время на прокатку, т.к. при этом происходит повышение температуры поверхности раската за счет более интенсивного притока тепла от центральных слоев к поверхностным. Таким образом, задача получения требуемой $T_{\text{кп}}$ при ускоренном охлаждении на промежуточном ролланге стана сводится к правильному определению температуры поверхности раската после душирования.

Ввиду ограниченных возможностей экспериментальных методов исследований задачу решали на базе математической модели, разработанной в Донничермете Н.В.Гончаровым, и А.П.Пармошиным. Для повышения точности расчетов в модель внесли изменения, позволяющие учитывать не только неравномерность распределения температуры по толщине, но и определять температурный перепад по длине раската. С целью расширения диапазона применения модели в ней учтена возможность расчета температуры при условии экранирования поверхностей раската специальными устройствами.

В ранее разработанной модели изменение температуры раската при контактном теплообмене с валками определяли по известному

Температурно-временной режим прокатки листов
толщиной 25 мм



- 1-5 - номер пропуска в числовой клетки;
 а - прокатка с подсуживанием на воздухе;
 б - в - то же после ускоренного охлаждения до
 различной температуры

Рис. 1

уравнению А.В.Лыкова. Анализ расчетов по данной формуле показал, что погрешность в определении среднемассовой температуры с учетом рассчитанной по уравнению А.В.Лыкова температуры поверхности составляет (4...6)%. Это связано с особенностями дискретизации при решении уравнения теплопроводности методом конечных разностей и теплотехническими особенностями процесса прокатки. В частности,

температура поверхностных слоев металла составляет по расчету (400...600) °C в зависимости от условий прокатки. Т.к. в известной модели область непрерывного применения независимого переменного заменяется равномерной разностной сеткой, то при определении среднемассовой температуры путем суммирования дискретных значений температур слоев, поверхностные слои вносят указанную погрешность. Использование на границах расчетной области более тонких слоев может внести соответствующую погрешность в определение энергосиловых параметров процесса прокатки. В связи с этим, на базе теоретических расчетов и экспериментальных замеров температуры поверхности среднемассовую температуру предложили определять по формуле:

$$T_{cp} = \frac{T_1 + 2T_2 + 9T_3}{12} + \frac{T_n + 2T_{n-1} + 9T_{n-2}}{12} + \frac{\sum_{i=4}^{n-3} T_i}{i-4}$$

где T_{cp} - среднемассовая температура; T_1, T_n - температура верхней и нижней поверхностей раската соответственно; $T_i, T_{n-1}, T_{n-2}, T_2, T_3$ - температуры основных слоев металла; n - число узлов сетки ($n \geq 10$).

Приведенная формула позволяет снизить погрешность, вносимую температурой поверхностных слоев, рассчитанной по формуле А.В.Лыкова.

Для оценки распределения температуры по длине прокатываемого листа, в разработанной модели использовали принцип параллельного переноса осей координат. В соответствии с данным принципом раскат разбивается условно на m частей, для каждой из которых определяется продолжительность действия граничного условия, в котором находится тот или иной участок. Это позволило дискретизировать процесс расчета температуры по длине полосы не усложняя метод решения дифференциального уравнения теплопроводности, т.е. опре-

делить распределение температуры по двум координатам, решая одномерную задачу. Блок-схемой расчета (рис. 2) предусмотрено решение уравнения теплопроводности для шести видов граничных условий.

Исходные данные для расчета включали следующую информацию: начальные распределения температуры по длине и толщине сляба (раската), теплофизические свойства прокатываемого металла, валков, диаметр и скорость валков, режим обжатий, длину граничных условий и скорость их прохождения раскатом. Число расчетных слоев по толщине раската принимали равным 10, по длине - 5. Программа расчета предусматривает возможность расчета, начиная с любой стадии прокатки, а сам расчет выполняется до полной реализации всех граничных условий, предусмотренных исходными данными. Погрешность определения температурного "клина" как разности в температуре поверхности первого и последнего участков листа при прокатке в чистовой клетке стана 3600 не превышала 17 %.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ С ПЕРЕПАДОМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ТОЛЩИНЕ

При разработке модели приняты следующие допущения: среда жестко-пластическая; для принятой среды выполняется условие несжимаемости; дуга контакта заменена хордой; зона прилипания распространена по всей длине зоны контакта металла с валками; касательное напряжение вдоль поверхности слоев с различной температурой равно пределу текучести на сдвиг менее прочного слоя.

Расчетная схема кинематического разрывного слоя скоростей представлена на рис. 3.

Для принятой схемы мощность деформации затрачивается на граничных плоскостях сдвига. Функционал принципа виртуальных скорос-

Блок-схема расчета температурного режима прокатки

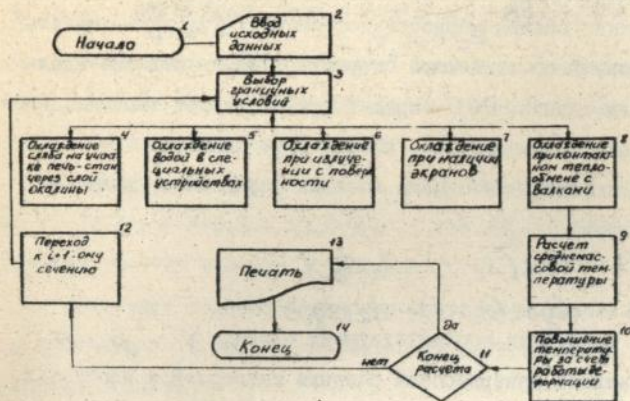


Рис. 2

Схема очага деформации и поля скоростей

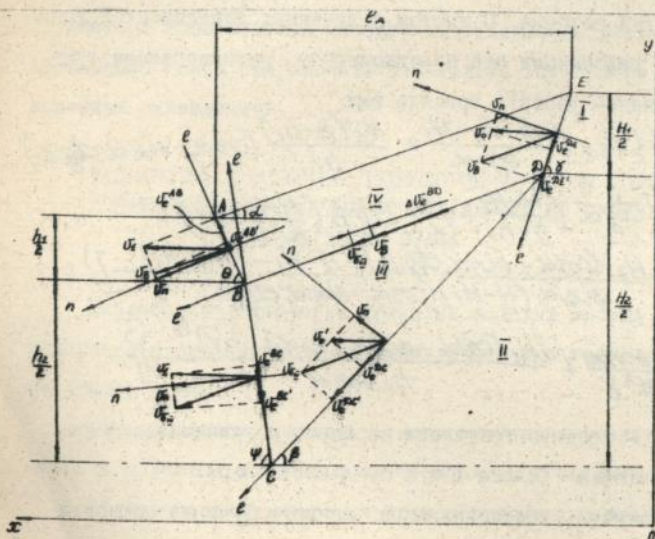


Рис. 3

тей пример вид:

$$N_B = 2 \sum_{i=1}^n \tau_{Si} \int_{S_{Si}} |\Delta v_{ei}|_i dS_{ei}$$

где N_B - верхняя оценка мощности деформации; $|\Delta v_{ei}|_i$ - модуль разрыва касательной составляющей скорости течения металла вдоль i -ой плоскости сдвига; τ_{Si} - предел текучести при чистом сдвиге для i -го блока, образованного плоскостями сдвига.

Из условия постоянства объема металла определили уравнения связи между углами

$$\operatorname{ctg} \theta = \operatorname{ctg} \alpha (\lambda_1 - 1) - \lambda_1 \operatorname{ctg} \gamma$$

$$\operatorname{ctg} \psi = \operatorname{ctg} \alpha (\lambda_2 - 1) - \lambda_2 \operatorname{ctg} \beta$$

где λ_1, λ_2 - вытяжки соответствующих слоев; γ, β, θ и ψ - углы наклона поверхностей разрыва скоростей к плоскости XOZ ; α - угол наклона хорды контакта к оси OX .

Введя локальные системы координат определили разрывы касательных составляющих скоростей перемещения частиц металла и площади поверхностей разрыва. С учетом полученных зависимостей уравнение мощности деформации при неравномерном распределении температуры по сечению раската приняло вид

$$N_B = v_B \cdot B \left\{ \tau_{S2} \left(\frac{\Delta h + h_1 - H_1}{\sin \alpha} + \frac{H_1 (h - h_1)}{h_1} (\cos \alpha - \sin \alpha \operatorname{ctg} \gamma) \right) \right.$$

$$\left[\operatorname{ctg} (\beta - \alpha) + \operatorname{ctg} \alpha \left(\frac{H - H_1}{h - h_1} - 1 \right) - \operatorname{ctg} \beta \left(\frac{H - H_1}{h - h_1} + 1 \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{\cos \alpha (H - H_1) (\cos \alpha - \sin \alpha \operatorname{ctg} \beta) + H - H_1 - 2(h - h_1)}{\sin \alpha (H - H_1) (\cos \alpha - \sin \alpha \operatorname{ctg} \beta)} \right] +$$

$$\left. + \tau_{S1} \left(\frac{H_1 \sin \alpha}{\sin^2 \gamma} + \frac{[H_1 (\cos \alpha - \sin \alpha \operatorname{ctg} \gamma) - h_1]^2}{h_1 \sin \alpha} \right) \right\}$$

где τ_{S1}, τ_{S2} - пределы текучести на сдвиг различных температурных слоев металла (слоев I и II соответственно).

Корни уравнения, обеспечивающие минимум функции мощности равны

$$\gamma = \arccos \left\{ \frac{\sigma_{s2}(h-h_1) \cdot Z}{2\sigma_{s1}(H_1+h_1)} + \operatorname{ctg} \alpha \frac{H_1-h_1}{H_1+h_1} \right\}$$

$$h_1 = h - \frac{(H-H_1) \sin(\beta-\alpha) \{ \sin(\beta-\alpha) + \sqrt{8 \sin^2 \beta + \sin^2(\beta-\alpha)} \}}{4 \sin^2 \beta}$$

где h_1 - толщина "подогнутого" слоя после деформации.

Значение угла β определяется по методу хорд. В первом приближении можно принять $\beta = (24 \dots 30)$ град.

Величину H_1 определяли по аппроксимирующей зависимости

$$H_1 = -19,1 + \sqrt{390,6 + 15,6 H_{cp}}, \text{ где } H_{cp} = (H+h) / 2 - \text{средняя толщина раската за пропуск.}$$

Используя принцип Даламбера определили значения силы и момента прокатки с учетом неравномерности распределения температуры по толщине раската

$$P = 0,5 B \cdot P \cdot \operatorname{ctg} \alpha$$

$$M = 0,5 B P R$$

Сопоставление расчетных значений силы прокатки с экспериментальными данными дало сходимость в пределах (10...13) %. Анализ полученных зависимостей показал необходимость учета толщины "подогнутого" слоя при расчете параметров технологии прокатки с ускоренным охлаждением.

РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА ПРОМЕЖУТОЧНОМ РОЛЬГАНГЕ СТАНА

Разработка технологии прокатки толстых листов с применением ускоренного охлаждения на промежуточном рольганге стана включала следующие этапы:

- 1) разработку модели прогнозирования комплекса механических свойств с учетом влияния междеформационной паузы;
- 2) определение скорости транспортирования подкатов через зону охлаждения;

3) разработку статистической модели согласованной работы агрегатов в комплексе "стан - УУО";

4) разработку способов управления разнотолщиной толстых листов.

С целью оценки влияния параметров прокатки и охлаждения на прочностные свойства толстых листов, а также разработки температурно-деформационных режимов прокатки при двухстадийной деформации провели планируемый четырехфакторный лабораторный эксперимент типа 2^{4-1} . В качестве функции отклика выбрали пределы прочности и текучести, а диапазон изменения факторов выбрали исходя из реальных условий прокатки листов из стали марки ОЭГ2С. Лабораторный эксперимент проводили на стане 300. В процессе эксперимента варьировали условия деформации и междеформационного охлаждения, т.е. длительность междеформационной паузы. В результате обработки данных, полученных после испытаний образцов на растяжение, получили статистические модели для расчета прочностных свойств листов

$$\sigma_T = 41,8 + 43,5 C_{\text{эжв}} - 0,013 T_{\text{кл}} + 0,36 \frac{h_{\text{п}}}{h_{\text{л}}} - 0,024 T_{\text{кл}}$$

$$\sigma_B = 54,6 + 62,3 C_{\text{эжв}} - 0,031 T_{\text{кл}}$$

Анализ моделей показал, что при прочих равных условиях уменьшение длительности охлаждения подкатов на промежуточном рольганге способствует росту предела текучести на (15...25) Н/мм².

Проверку разработанной модели провели на толстолистовом стане 3600, варьируя условия охлаждения на промежуточном рольганге.

Обработка результатов механических испытаний позволила получить уравнения регрессии для двух вариантов охлаждения

$$\sigma_{T_{\text{УУО}}} = 73,6 + 39,7 C_{\text{эжв}} - 0,056 T_{\text{кл}} - 0,054 h_{\text{л}}$$

$$\sigma_{B_{\text{УУО}}} = 39 + 64,95 C_{\text{эжв}} - 0,014 T_{\text{кл}}$$

$$\sigma_{T_{\text{В-Х}}} = 39,97 + 23,1 C_{\text{эжв}} - 0,012 T_{\text{кл}} - 0,043 h_{\text{л}}$$

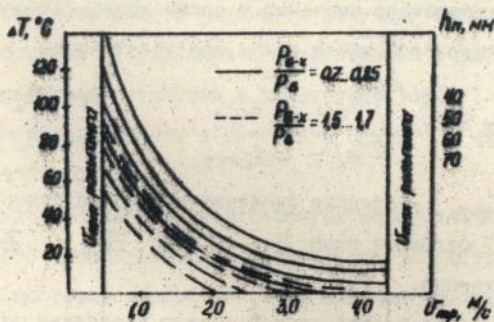
$$\sigma_{B_{\text{В-Х}}} = 36,3 + 54,2 C_{\text{эжв}} - 0,0062 T_{\text{кл}} - 0,018 h_{\text{л}}$$

где $\sigma_{T_{\text{уч}}}$, $\sigma_{T_{\text{в-х}}}$ - предел текучести листов после ускоренного охлаждения и подсуживания на воздухе; $\sigma_{B_{\text{уч}}}$, $\sigma_{B_{\text{в-х}}}$ - предел прочности для аналогичных вариантов охлаждения соответственно.

Сопоставление теоретических данных и результатов, полученных при промышленных исследованиях дает погрешность в определении прочностных свойств листов не превышающую 4 %, что позволяет использовать разработанные статистические модели при прогнозировании показателей качества толстолистового проката и определении необходимых технологических параметров производства листов с регламентированной температурой конца прокатки.

Получение требуемой температуры конца прокатки зависит от скорости транспортирования подката через зону охлаждения. Используя модель расчета температурного состояния раскатов в процессе прокатки, определили скоростной режим управления температурой подкатов для условий стана 3600 во взаимосвязи между толщиной подката, необходимым падением среднemasсовой температуры и давлением компонентов охлаждающей смеси (рис. 4).

Скоростной режим управления температурой подкатов толщиной (40...70) мм для условий стана 3600



АНБ им. В. Стефанни
АН УРСР

Представленный скоростной режим позволяет определить требуемую длительность нахождения подката в зоне охлаждения.

Кроме того, так как УЮ расположена на промежуточном рольганге стана, то при прокатке возможен случай, когда задний конец раската, прокатываемого в чистой клетке, блокирует раскат, находящийся в зоне охлаждения. Такая ситуация (при произвольном выборе интервала выдачи слябов из печей) приводит либо к переохлаждению части подката, находящейся в зоне охлаждения, либо к невозможности прокатки в черновой клетке стана и соответствующему простоя чистой клетки. В связи с этим разработано условие стыковки заднего конца i -го раската, выданного из Z -ой печи и обрабатываемого в последнем пропуске в чистой клетке, с передним концом $i+1$ -го раската, выданного из $Z \pm 1$ -ой печи и выходящего из зоны охлаждения, имеющего

$$\bar{t}_i = \bar{t}_{\text{чист}} + 2\sigma_Z \pm \bar{t}(Z)$$

$$\bar{t}_i = \bar{t}_{\text{черн}} + 2\sigma_{\text{черн}} \pm \bar{t}(Z)$$

где \bar{t}_i - интервал выдачи i -го сляба из печи; σ_Z - среднеквадратическое отклонение суммарного времени обработки раската от момента выдачи до момента конца прокатки в чистой клетке стана; $\bar{t}_{\text{чист}}$ - среднее время обработки раската в чистой клетке; $\bar{t}_{\text{черн}}$, $\sigma_{\text{черн}}$ - средневыворочное значение и среднеквадратическое отклонение прокатки в черновой клетке стана соответственно.

$$\bar{t}(Z) = \begin{cases} \bar{t}_{Z_{i+1}} - \bar{t}_{Z_i}, & \text{при } Z_i < Z_{i+1} \\ \bar{t}_{Z_i} - \bar{t}_{Z_{i+1}}, & \text{при } Z_i > Z_{i+1} \end{cases}$$

где \bar{t}_{Z_i} , $\bar{t}_{Z_{i+1}}$ - средние значения времени транспортирования i -го ($i+1$ -го) сляба от печи Z_i до печи Z_{i+1} (Z - номер печи) соответственно.

Расчеты на базе разработанной модели позволили определить величину такта выдачи слябов для любой очередности работы печей,

а исключение блокировок в системе создает дополнительные резервы по повышению производительности стана на (0,5...0,8) %.

Наличие УУО позволило предложить новый способ регулирования толщины листов в линии толстолистового стана. За счет равноускоренного движения подката через зону охлаждения на раскате создается исходный температурный перепад по длине подката, обеспечивающий при прокатке в чистовой клети получение равнотолщинного по длине листа. Значение ускорения определяется по формуле

$$a = 2v_{охл}^2 \frac{(\sqrt{v_{узо}} + \sqrt{v_{п}} - \sqrt{v_{п} + v_{узо}})^2}{\Delta T^2}$$

где $v_{охл}$ - скорость охлаждения подката; $v_{узо}$ - длина зоны охлаждения; $v_{п}$ - длина подката; ΔT - необходимый температурный перепад.

Блок-схема расчета режимов транспортирования раскатов с ускорением через зону охлаждения представлена на рис. 5.

В конструкции устройства ускоренного охлаждения стана 3600 калибр сопла выполнен одинакового диаметра для всех коллекторов, а изменение коэффициента теплоотдачи по ширине листа осуществляется за счет различной установки форсунок по высоте сопла. Для расчета необходимой высоты установок получили зависимость коэффициента теплоотдачи от заданных конструктивных и физико-теплотехнических параметров установки и охлаждающей смеси. Разработанный способ может быть применен в сочетании с другими способами повышения точности проката.

Реализация комплекса разработанных мероприятий на стане 3600 Мариупольского металлургического комбината "Азовсталь" позволило повысить поставку листов по более высоким классам прочности на (8...10) %, повысить производительность стана на (3...5) % при прокатке листов с регламентированной Ткп. Ожидаемый экономический эффект - 251 тыс.руб. Основные положения технологии прокатки

Блок-схема расчета режима транспортирования проката
через зону охлаждения с ускорением

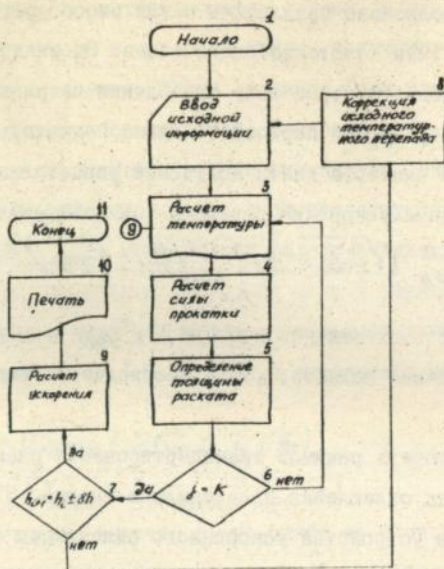


Рис. 5

голых листов с использованием ускоренного охлаждения на промежуточном рольганге стана послужили базой для разработки технологической инструкции ТИ 232-73-91 "Эксплуатация установки ускоренного охлаждения за черновой клетью голстолистого стана 3600".

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

I. При производстве голстолистого проката способом регламентированной прокатки для обеспечения заданной температуры конца деформации наиболее целесообразно применение установок ускоренного охлаждения, расположенных на промежуточном рольганге ста-

на, с использованием в качестве охладителя водо-воздушной смеси. Опыт разработки и освоения технологии прокатки голстых листов с ускоренным охлаждением за черновой клетью отсутствует.

2. Применение ускоренного охлаждения в потоке стана диктует необходимость оценки энергосиловых параметров процесса прокатки. Существующие же методики расчета в недостаточной степени учитывают влияние перепада температуры по толщине листа.

3. Анализ влияния теплового состояния раскатов на уровень показателей качества голстых листов позволил определить количественные и качественные характеристики возможного применения УУО на промежуточном роллганге стана: установлено, что превышение $T_{кп}$ над рекомендуемой на каждые 10°C приводит к снижению прочностных свойств в среднем на 2 Н/мм^2 ; в процессе регламентированной прокатки происходит перераспределение составляющих разнотолщинности в общей дисперсии отклонения толщины листов. Суммарная доля продольной и поперечной разнотолщинностей повышается до (60...80) %.

4. Экспериментальное и теоретическое исследование процесса прокатки с градиентом температуры по толщине и длине листа позволило установить, что одинаковая температура конца охлаждения при душировании и подстуживании на воздухе не обеспечивает идентичных температурно-временных условий деформации в чистой клетке. Получена зависимость для расчета среднemasсовой температуры раската, учитывающая влияние толщины "подстуженного" слоя на характер распределения температуры. Применение метода параллельного переноса координат позволило определить изменение температуры по двум координатам при решении одномерной задачи теплопроводности. Погрешность расчета температурного состояния раскатов при прокатке не превышает 17 %.

5. Методом "жестких" блоков с использованием разрывного решения получена верхняя оценка энергосиловых параметров процесса прокатки с неравномерным распределением температуры по толщине листа. Расчет силы прокатки по верхнему пределу дает сходимость с экспериментальными данными (10...13) %. Исходя из принципа минимума полной мощности деформации получено аналитическое выражение для расчета величины "подстуженного" слоя после деформации.

6. С использованием метода активного планируемого эксперимента получена адекватная математическая модель, описывающая влияние основных факторов прокатки на прочностные свойства толстых листов. Подтверждено определяющее влияние химического состава стали и температуры конца прокатки на пределы текучести и прочности. Установлено, что уменьшение междеформационной паузы с 90 до 20 с при использовании УУО на промежуточном рольганге стана приводит к росту предела текучести листов из стали 09Г2С на (15...25) Н/мм². Отклонение теоретических данных от результатов промышленных исследований при определении прочностных свойств листов не превышает 4 %.

7. Разработаны скоростные режимы управления температурой подката толщиной (40...70) мм. Установлено, что оптимальное соотношение давлений воды и воздуха, обеспечивающее максимальную скорость охлаждения находится в пределах (1,18...1,43).

8. Разработана статистическая модель согласования работы агрегатов в комплексе "нагревательная печь - стан - УУО", исключающая возможность блокировки раската, находящегося в зоне охлаждения.

9. Доказана принципиальная возможность управления толщиной раската за счет использования УУО на промежуточном рольганге стана. Получены аналитические выражения для расчета необходимых управляющих параметров ускоренным охлаждением. Показано, что для заданных конструктивных и физико-теплотехнических параметров охлаждения

коэффициент теплоотдачи является функцией от высоты установки форсунок в сошлах.

10. Освоение комплекса разработанных режимов прокатки и охлаждения горячих листов на стане 3600 Мариупольского металлургического комбината "Азовсталь" позволило повысить поставку листов по более высоким классам прочности ГОСТ 19281-89 на (8...10) % и повысить производительность стана на (3...5) % при прокатке листов с регламентированной Ткп. Ожидаемый экономический эффект - 251 тыс.руб. Основные положения технологии прокатки листов с использованием ускоренного охлаждения на промежуточном ролланге стана послужили базой для разработки технологической инструкции ТИ 232-73-91 "Эксплуатация установки ускоренного охлаждения за черновой клетью толстолистового стана 3600".

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ:

1. Исследование зависимости уровня прочностных свойств горячих листов от технологических параметров производства / Егоров А.И., Литвиненко С.Н., Парамошин А.П. и др. - Донецк, 1991. - 10 с. - Деп. в Черметинформации 30.12.91, № 5344.

2. Парамошин А.П., Литвиненко С.Н., Егоров А.И. Повышение качества горячекатаных горячих листов регулированием температурного режима деформации // Научно-техническое творчество молодежи в области развития научно-технического прогресса в черной металлургии: Сб. материалов Всесоюз.отрасл. встречи. - М., 1986. - С. 44-45.

3. Егоров А.И., Левитан С.М., Литвиненко С.Н. О способе управления продольной разнотолщиной // Ресурсосбережение в производстве листового проката: Тез.докл. Всесоюз. семинара. - М., 1990. - С. 38-39.

4. А.с. 1577893 СССР МКИ⁴ В21В 1/30. Способ прокатки листов / Ю.В.Коновалов, А.И.Егоров, А.П. Парамошин и др. (СССР). - 6 с.

5. А.с. 1475158 СССР МКИ С31С 1/02, 8/00. Способ прокатки листов и полос / Ю.В.Коновалов, А.И.Егоров, А.П.Парамошин и др. (СССР). - 9 с.: ил.



Подп. в печать 26.10.92. Формат 60×84^{1/16}. Бумага к.и.об.и.д.ст. Офсетная печать.
 Усл. печ. л. 4,39 . Усл. кр.-отт. 4,50 . Уч.-изд. л. 4,0 , Тираж 120 экз.
 Заказ № 9-600.

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

Ab 25.704

AB 25.704

✓

31