

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт

Факультет материаловедения и металлургических технологий
Кафедра процессов и машин обработки металлов давлением

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

_____ /Радионова Л.В./

_____ 2020 г.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЛИСТОВОЙ
ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАННЫХ СВОЙСТВ
ГОТОВОГО ПРОКАТА**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА

ЮУрГУ – 22.03.02 – 2020 – 100 – 00.00.00 ПЗ

Нормоконтролер

_____ ст. преподаватель

Соседкова Марина Алексеевна

_____ 2020 г.

Руководитель работы

_____ ст. преподаватель

Соседкова Марина Алексеевна

_____ 2020 г.

Автор работы
студент группы П-438

*Исправников Денис
Владимирович*

_____ 2020 г.

Челябинск
2020

АННОТАЦИЯ

Исправников Д.В. Разработка технологических режимов листовой горячей прокатки с целью получения заданных свойств готового проката. – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, МиМТ, 2020. – 49 с., 4 ил., библиогр. список – 8 наим.

Данная выпускная квалификационная работа выполнена с целью разработки технологических режимов листовой горячей прокатки с целью получения заданных свойств готового проката.

В выпускной квалификационной работе изучены современные тенденции развития листопрокатного производства, описан технологический процесс и оборудование прокатки на стане 2300/1700 ПАО «ЧМК». Также выполнены расчёты: режимов обжатия и формоизменения, скоростных параметров, температурных режимов и энергосиловых параметров в условиях стана 2300/1700 ПАО "ЧМК".

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЛИСТОПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	7
2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ТОЛСТОЛИСТОВОГО СТАНА 2300/1700 ЧЕЛЯБИНСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА.....	16
2.1. Подготовка металла к прокатке.....	16
2.2. Оборудование и технология прокатки.....	19
2.3. Оборудование технология отделки готового проката.....	24
3. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННЫХ СВОЙСТВ ГОТОВОГО ПРОКАТА....	29
3.1. Расчет режимов обжатия и формоизменения стали ХН78Т (ЭИ435) на стане 2300/1700.....	31
3.2. Расчет скоростных режимов.....	35
3.3. Расчет температурных режимов процесса.....	38
3.4. Расчет условий захвата.....	41
3.5. Расчет энергосиловых параметров.....	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	48
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	49

ВВЕДЕНИЕ

Толстолистовой прокат является одним из основных видов продукции в металлургии. В то же время существует потребность в прокатке новых марок стали и повышения качества готового проката. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых технологических режимов горячей прокатки для получения заданных свойств готовой продукции.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка технологических режимов листовой горячей прокатки с целью получения заданных свойств готового проката. Главным объектом исследования станет лист марки стали ХН78Т (ЭИ435).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать современные тенденции развития листопрокатного производства.
2. Описать и проанализировать технологический процесс и оборудование прокатки на стане 2300/1700 ПАО "ЧМК;
3. Разработать оптимальные технологические режимы для обеспечения заданных свойств готового проката.

1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЛИСТОПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Горячекатаный лист в современных условиях развития металлургии является очень востребованным товаром на международном рынке, поэтому обеспечение его отличного качества, снижение затрат производства – одна из главных задач металлургических предприятий.

Практически ни одно предприятие и строительная площадка не может обойтись без проката данного типа.

На долю продукции этого класса приходится порядка 50% от общего объема производства, и просматривается тенденция постоянного роста спроса, снизить который не смог даже существующий кризис.

Лист длиной 2-12 м, шириной 600-4900 мм и толщиной 4-160 мм по ГОСТ 5687 называется толстым. Плита — это лист, толщина которого больше 60 мм. Толстолистовой прокат поставляют в форме карточек, которые в дальнейшем вырезают по требованиям заказчиков. Способы обрезки листопрката оговариваются заказчиками, и обрезается по кромкам либо гильотинными ножницами, либо газовым резаком. На универсальных специализированных станах, которые имеют вертикальные валки для обжима боковых кромок листа, катают универсальные толстые листы с катаными кромками. Такие листы имеют толщину 4-50 мм, а ширину 200-1050 мм.

На сегодняшний день листы толщиной 8 мм и больше, производят большое количество современных станов листовой прокатки. Листы толщиной 4-8 мм, стало выгоднее производить на широкополосных станах, чем на толстолистовых, в связи с этим часть толстолистовой продукции плавно перешла на станы направленные на производство более тонкого листа. Современный стан 5000 ОАО «Северсталь» может прокатывать плиты 300 мм и более, поэтому толщина 160 мм уже не является верхним пределом.

Большое количество толстого листа в мире производит Япония. В этой стране очень развит танкерный флот. Не имея собственного металлургического сырья, Япония танкерами завозит его из Индии, Бразилии и других стран. Собственные потребности в толстом листе, а также лидирующие позиции по качеству листа определили ведущее место этой страны по производству и сбыту толстолистовой продукции. Значительную долю на рынке составляет немецкий толстый лист. Быстро растет его производство в других странах.

В России быстро развивается химическое и атомное машиностроение, поэтому она имеет большую потребность в толстом листе, в том числе и для судостроения и для прокладки крупных газопроводов и нефтепроводов.

Россия в составе СССР после строительства типовых толстолистовых станов 2800 (Рисунок 1.1), только лишь с 1950-х начала в достаточном количестве производить толстолистовой прокат. Для развивающегося машиностроения, данные станы позволили быстро повысить объём продукции толстого листа. В 1955 г. стан 2800 был построен на Коммунарском металлургическом заводе, в 1960-м на ОХМК и т. д. (в названии листовых станов указывается длина бочки прокатных валков, так как эта характеристика наилучшим образом отражает возможности стана) [2].

На стане 2800 сляб подают на загрузочные решетки, где он осматривается и взвешивается, а после с помощью толкателя загружается в одну из методических печей 2. При проталкивании вся садка печи перемещается на один шаг, и последняя нагретая заготовка сбрасывается на приемный рольганг, ведущий к вертикальной клетки 3 стана. В этой клетки разрыхляется и разламывается окалина на основных широких гранях, а по боковым граням происходит обжатие заготовки. Далее гидросбивом из системы сопел под давлением 150 атм., она смывается водой. В горизонтальной черновой клетки 4 в реверсивном режиме происходит прокатка до некоторой промежуточной толщины. В универсальной листовой клетки 5 реверсивной прокаткой формируют окончательные размеры листа.

Клеть содержит вертикальные и горизонтальные валки. Вертикальные валки формируют ширину готового листа и снимают уширение. На многих станах, построенных после 1964 г., чистовая клеть имеет только горизонтальные валки, потому что идею эксплуатации вертикальных валков для сокращения боковой обрезки и получения катаных кромок на листе так и не удалось осуществить до конца. Затем готовый лист толщиной 20-50 мм по шлепперу 7 поступает на первую линию I стана. Здесь с помощью системы гильотинных ножей 8 и 9, расположенных в продольном и поперечном направлениях, осуществляется обрезка боковых и концевых кромок, а также раскрой листа по заказу. Здесь же (как правило, от одного листа каждой плавки) вырезается полоска металла для металлографических и механических испытаний (проба). В виде готовой карточки лист поступает на холодильник 10. Окончательно листы охлаждаются в штабелях на территории склада цеха [1].

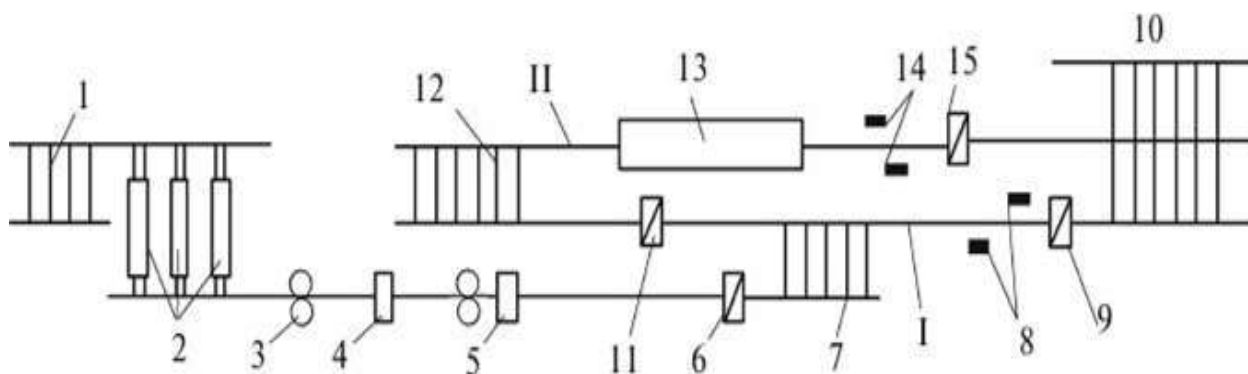


Рисунок 1.1. Схема расположения типового толстолистого стана 2800

Представленный стан выше довольно простой. Он не может гарантировать хорошего качества листопроката, так как не имеет необходимого оборудования для контроля качества стали. На передовых станах заказчик должен выдавать гарантированные характеристики листа, а также паспорт поверхностных и внутренних дефектов листа, если они возможны. На листах, претендующих на высокое качество, поверхностные

дефекты должны быть удалены. На стане 2800 оборудования для проверки поверхностных изъянов и дефектов нет, она осуществляется визуальным осмотром. Также у стана отсутствует поворотное устройство, предназначенное для кантования листа и осмотра его второй поверхности. Процедуры выявления и устранения дефектов сосредоточены на отдельном участке цеха (на адьюстаже), а не в линии стана. Это, во-первых, дорого, а во-вторых, на адьюстаже не удастся организовать 100 % контроль качества продукции. На современном стане в технологической линии должны быть установлены соответствующие датчики (дефектоскопы), например ультразвуковые, для контроля поверхностных и внутренних дефектов. Также в технологической линии должны находиться зачистные станки, осуществляющие сплошную или выборочную зачистку поверхностей листа на ответственных заказах. Должны быть разметочные устройства, клеймовочные машины и пр. Конечно, необходима автоматизированная система слежения за каждым листом на всех переделах на базе сети ЭВМ. На описываемых станах такие системы появились только в последнее время в результате реконструкции этих станов.

Для производства высокого качества продукции, в 1973 году был построен стан 3600 на заводе «Азовсталь» (г. Мариуполь, Украина), имеющий современные и по многим показателям уникальное оборудование (Рисунок 1.2). Это стало значительным этапом в развитии толстолистого проката. Данный стан производит листы толщиной от 5 до 50 мм и плиты 200 мм, с шириной от 200 до 3200 мм, из углеродистых, легированных и конструкционных марок стали. Прокатку ведут из заготовок толщиной от 130 до 250 мм, шириной от 1100 до 1900 мм и массой от 2,2 до 16,0 т, которые получают на слябингах заводов им. Ильича (Мариуполь) и «Запорожсталь» (Запорожье). Основную часть заготовки составляют литые слябы, получаемые на УНРС конвертерного цеха Азовстали. На стане предусмотрена также прокатка слитков весом от 10 до 30 т размерами (450-940)х(1300-2000)х(2400-3000)мм. Для нагрева слитков на стане имеются

нагревательные колодцы 1, а для нагрева слябов четыре методические печи 16, оборудованные автоматическими весами 15, показания которых сразу попадают в сетевую автоматизированную систему слежения и учета металла по всей технологической линии. Слябы со склада транспортируются тележкой 13 к подъемно-опускающему столу, с помощью которого они поступают на печной рольганг 14 и оттуда толкателями загружаются в методические печи. При перемещении толкателя на один шаг одна нагретая до температуры 1180-1280°C заготовка выпадает на транспортный рольганг. Нагретые в колодцах слитки краном передаются на стационарный опрокидыватель 2, который укладывает слиток на рольганг, ведущий к линии стана [2]

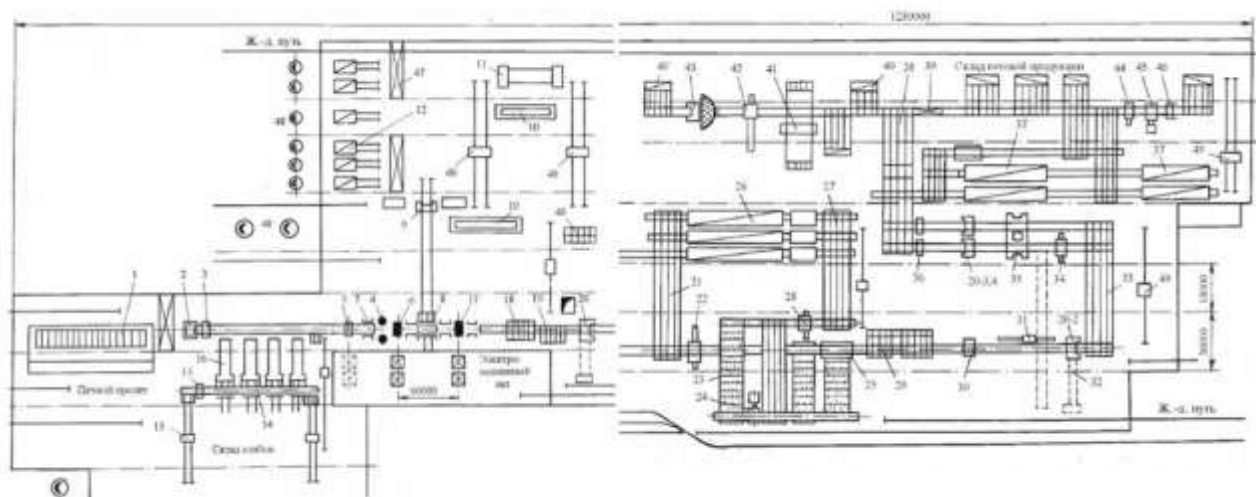


Рисунок 1.2. План расположения оборудования стана 3600 завода “Азовсталь”

В деформационной части стана имеется типовой набор оборудования - вертикальная клеть дуо 4, черновая 6 и чистовая 17 клетки кварто (без вертикальных валков), за каждой из которых установлены гидросбивы. Одной из особенностей стана является установка поворотных рольгангов не только за черновой, но и перед и за вертикальной клетью. Это позволяет применять технологические схемы прокатки, не применяемые ранее, и

активно управлять формой раската. Набор оборудования стана очень многообразен и позволяет получать лист повышенной точности, с заданной структурой металла и высоким уровнем механических свойств.

Процесс литья полосы, который может производить стальную полосу непосредственно из расплавленной стали, таким образом, минуя процесс горячей прокатки, был мечтой стальных инженеров с тех пор, как Генри Бессемер опубликовал свою теорию в 1856 году. С конца 1980-х годов развитие литейного производства или близкого к сетчатому формованию вновь набрало обороты, и это привело к возрождению двухбарабанных (или двухвалковых) литейных машин бессемеровского типа.

Компактное производство полосы (CSP)-это новая технология, разработанная в 1980-х годах для литья-горячей прокатки тонких слябов. Это новое технологическое нововведение после технологии сталеплавильного производства и непрерывной разливки конвертера в сталелитейной промышленности. Эта технология обеспечивает более компактную линию и более простую процедуру по сравнению с традиционной технологией горячей прокатки.

Основные технические характеристики CSP

Концепция CSP основана на разработках Schlömann Siemag Ag (SMS) в Германии, где она была испытана на экспериментальной основе, начиная с 1985 года. Проданный SMS / Concast, первый коммерческий блок был заказан NUCOR в конце 1986 года, а строительство было начато в Кроуфордсвилле, штат Индиана, осенью 1987 года. В июле 1989 года был запущен первый завод по производству компактной полосы (CSP), а через год, в июне 1990 года, были впервые достигнуты прибыльные операции. Сталеплавильная секция завода Nucor CSP состоит из двух АBB-поставляемых, сконструированных Фуксом электродуговых печей переменного тока с водяным охлаждением боковых стен и крыш, кислородных топливных горелок и эксцентричного Нижнего отвода.

После выплавки стали жидкость разливают в промежуточный ковш литейщика, после чего она затвердевает до требуемой толщины 40-70 мм. Затем сляб срезают до нужной длины и транспортируют в туннельную или уравнивающую печь, обычно устанавливаемую при температуре 1150°C. В этот момент сляб демонстрирует аустенитный размер зерна 500-1000 мкм.

По истечении 20-минутного времени пребывания в печи сляб выходит из печи, срезается урожай, а затем поступает в отделочную мельницу при температуре около 1000°C. После прохождения сляба через отделочную мельницу из 5, 6 или даже 7 стоек он поступает в выбегающий стол (гниль), где подвергается охлаждению до температуры намотки, после чего его сворачивают в рулон до комнатной температуры. Этот процесс схематично показан на Рисунке 1.3

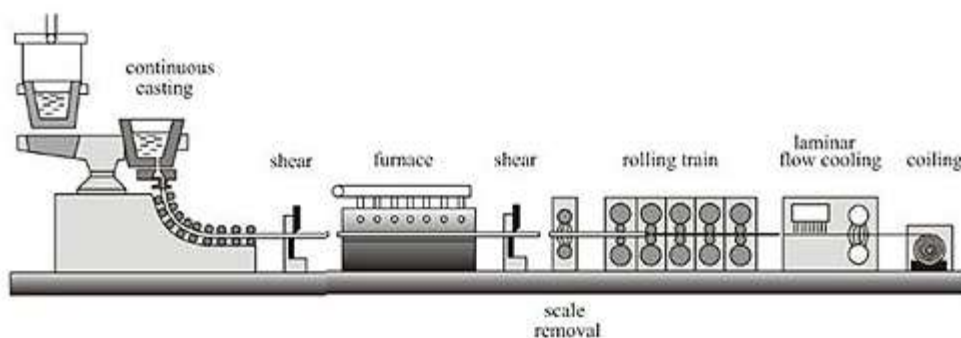


Рисунок 1.3. принципиальная схема интегрированной технологической линии производства горячекатаных плит в процессе CSP (Compact Strip Production).

Как уже упоминалось выше, большинство заводов CSP имеют 6 стандов, причем небольшая их часть использует 5-стандовые или 7-стандовые макеты. Заводы CSP приходят с системами управления профиля и плоскостности принимая известную технологию CVC для регулировки.

Эти системы позволяют устанавливать определенные высоты профиля для готовой полосы независимо от распределения проходных сокращений в

мельнице. Упругая деформация и термический износ коронки и валка оцениваются с помощью системы управления профилем и плоскостностью и компенсируются при настройке зазоров между валками.

Компенсация, для зазора крена заранее ставя для нежелательных профиля и плоскостности приводящая к от:

- Изменение упругой деформации комплекта валков
- Изменения в термической короне
- Изменения в коронке рулона вызваны износом.

Для установок Nucor была доступна более новая технология под названием PFC-CFC, основанная на сочетании контура и управления плоскостностью с так называемыми системами управления контуром и плоскостностью. Система управления контуром и плоскостностью предназначена для устранения любых профильных аномалий, приводящих к износу валков и термическому износу коронки. Такие износ валков и термическая коронка, скорее всего, произойдут, когда прокатка выполняется либо с постоянной шириной, либо с изменяющейся шириной в течение длительного периода времени.

Для высокого давления de-scaling впереди прокатного стана, насосы давления 400 адвокатских сословий переменные для недавних установок, или насосы высокого давления 250 адвокатских сословий для более старых одних. Если требуется, например, для прокатки некоторых чувствительных марок, роликовая боковая направляющая (кромка) может быть установлена перед стойкой F1 для улучшения качества наведения и кромки и т. д.

На большинстве заводов производственная мощность составляет около 1 млн. тонн в год, варьируясь от 0,9-1,5 млн. тонн в год. Размеры сляба колеблются от 40 до 70 мм в толщине и 900 до 1600 мм в ширине в большинстве установках. Минимальный размер финиша прокладки от 1.2 мм до 2 мм в большинстве случаев; более новые мельницы обычно имеют более тонкий размер финиша. Размер жары обычно 120 до 180 тонн, колеблясь от меньше чем 100 тонн до над 200 тонн.

Почти в то же самое время развитие процесса CSP, in-line Strip Production (ISP) находилось в стадии интенсивного развития к тому времени Mannesmann Demag AG и Arvedi Group. Теперь, обе технологии с тех пор длинной достигали Всемирного опознавания.

Хотя есть небольшие различия в компоновке двух технологий производства полосы, они оба бросают сталь в тонкий Калибр, повторно нагревают его и закатывают в финишный Калибр за ограниченное количество проходов, что значительно сокращает производственные этапы и снижает потребление энергии. Непрерывная разливка и прокатка стальной полосы была революцией в сталелитейной промышленности в конце прошлого века. Некоторые тонкие калибры, которые обычно должны быть изготовлены методом холодной прокатки, теперь могут быть получены из горячей прокатки с помощью нового процесса CSP или ISP, который может прокатывать 1,2 мм сейчас и, возможно, 0,7-0,8 мм в будущем.

Одной из наиболее ярких характеристик процесса ISP является общая компактность установки. Завод с длиной линии всего 180 м от жидкой стали до горячекатаного проката сегодня на 50% превышает свою первоначальную проектную мощность в 0,6 млн. т / год. Однако продолжительный ввод в эксплуатацию в Кремоне (Италия) в сочетании с ухудшением финансового состояния компании Mannesmann Demag ограничил возможности сбыта технологии ISP в период глобального расширения мини-мельниц в начале - середине 1990-х годов; тем не менее, в настоящее время функционирует несколько других установок ISP. Например, на заводе Posco Kwangyang works в Южной Корее работает двухниточный ISP, в то время как Saldanha Steel в Южной Африке и Corus's Ijmuiden works в Нидерландах оснащены одниточными блоками.

2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ТОЛСТОЛИСТОВОГО СТАНА 2300/1700 ЧЕЛЯБИНСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Данный стан сооружён в 1963 году и располагается в четырёх пролётах. Состоит из реверсивной клетки 2300, а также из непрерывной группы клеток 1700. Стан 2300/1700 специализирован на прокате листового металла размерами (20-6)X(600-2000) мм на реверсивной клетки 2300, и листов (2-6)X(1150) мм на непрерывной группе клеток 1700. Листы изготовлены из легированных и коррозионностойких сталей, углеродистых низколегированных, а также двухслойных листов.

Начальной заготовкой служат слябы размером (90-190)X(600-1090) мм. Размеры заготовок для прокатки двухслойной стали (160-240)X(640-1170) мм, а слябов коррозионностойких сталей (115-180)X(600-1050). Длина заготовок 1600-2000 мм для стана 2300, 2000-4000 для стана 1700 [1].

2.1. Подготовка металла к прокатке

Слябы поступают на железнодорожных вагонах. Складируются по маркам стали и габаритам. Слябы легированных и коррозионностойких сталей зачищают на механизированных наждачных станках типа А-1459 и ХШ 7-10. Углеродистых и низколегированных сталей зачищают газокислородными резаками на стеллажах зачистки.

Максимальная интенсивность скорости шлифования 50-60 м/с. На складском помещении находятся мостовые краны способностью вести груз 8, 15/3 и 50/10т.

Подготовленные плиты подают кранами на подъемные и опускные столы нагревательных печей. Грузоподъемность стола 980 кН, рабочий ход 1 м, максимальный ход 1,06 м, ширина стола 1,3 м, скорость подъема 40 мм / с.

Со столов слябы четырьмя сталкивателями усилием по 29 кН сталкиваются при максимальном ходе 2,55 м и рабочем 2,1 м по одному на загрузочный рольганг со скоростью 0,6 м/с.

Нагрев всех слябов и обогрев транспортной стали ведут в 4 четырехзонных методических печах (ширина в свету 5,0 м, длина пода 2,45 м) с нижним обогревом, торцевой загрузкой и выдачей. Температура нагрева сплава 1200. Наибольший темп выдачи 90 шт/ч. Печи отапливаются коксодоменной консистенцией с теплотой сгорания 330-490 кДж/м².

Через нагревательную печь слябы продвигаются со скоростью 0,2 м/с сдвоенным толкателем с усилием толкания 870 кН на две штанги при рабочем ходе 2,0 м, наибольшим 3,5 м. В каждой зоне по 5 (всего 20) инжекционных горелок. Давление газа у горелок 200 кПа. Воздух подогревается в керамических рекуператорах до 450-500°C. Газ подогревается в трубчатых рекуператорах до 200-250°C. Посад в печи холодный [3].

Для высокотемпературного нагрева трансформаторной стали есть 4 2-зонные толкательные печи с машиной безударной выдачи. Режим работы повторяющийся. Габариты печи: ширина в свету 4980 мм, длина пода 14400 мм. Жар нагрева металла до 1400, температура посадка 1200. Наибольший темп выдачи 48 шт/ч. Печи отапливаются природным газом теплотворной возможностью 200 кДж (пять горелок в 1 зоне 7 во второй). Образ горелок труба в трубе.

Задают и проталкивают слябы через печь сдвоенным толкателем с усилием толкания 2-х штанг 1,28 МН, приводимых от 2-х 70 кВт электродвигателей постоянного тока Д-812. Скорость толкания садки 0,07 м/с. Передают нагретые слябы из печи на рольганг стана специальным подъемным устройством. Наибольший рабочий ход тележки 3400 мм, рабочее усилие на штанге механизма передвижения при движении тележки 14,8 кН, наибольшее усилие на штанге механизма передвижения 29 кН, скорость движения тележки 0,3-1,0 м/с, высота подъема траверзы тележки 30 см, время подъема или опускания 2 с, допускаемое кратковременное усилие захвата траверзы при подъеме 138 кН.

Для промежуточного подогрева подкатов, специализированных для последующей прокатки на чистовой непрерывной линии, перед ней в потоке стана установлена шестизонная роликовая проходная печь.

В печи 92 ролика диаметром 165 мм, шаг роликов 580 мм. Охлаждаются ролики водой. Сверху и снизу проходящей полосы установлено 58 инжекционных горелок. Воздух подогревается в металлических трубчатых рекуператорах до 400°C . При посадке в печь подкаты имеют температуру 900°C и подогреваются до 1100°C , а из нержавеющей сталей до 1160°C . Пролет печей обслуживается 10-т мостовыми кранами.

Схема расположения оборудования стана 2300/1700 ПАО «ЧМК» изображена на рисунке 2.1 [1].

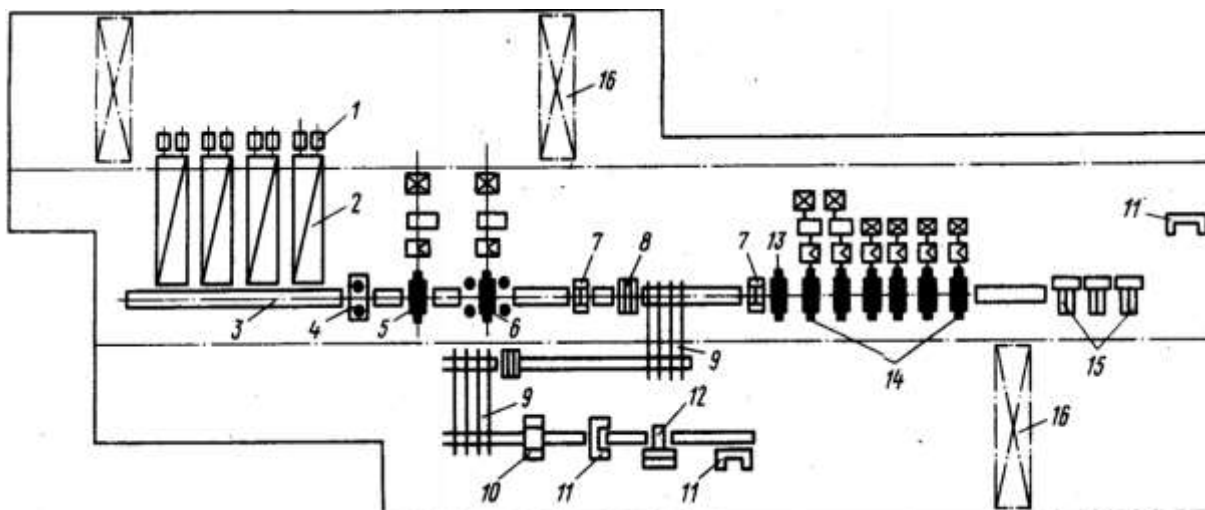


Рисунок 2.1. Схема расположения оборудования стана 2300/1700

1-толкатели, 2-нагревательные печи, 3-рольганг, 4-черновой вертикальный окалиноломатель, 5-уширительная клетка 2300, 6-универсальная клетка 2300, 7-ножницы, 8-ролткоправильная машина, 9-шлепперы, 10-дисковые ножницы, 11-ножницы гильотинные, 12-маркировочная машина, 13-чистовой окалиноломатель, 14-рабочие клетки чистовой группы, 15-моталки, 16-краны

2.2. Оборудование и технология прокатки

Стан полосовой полунепрерывный содержит 2 линии: 2300 и 1700. Нагретые слябы по рольгангу поступают в черновой вертикальный нереверсивный двухвалковый окалиноломатель для обжатия боковых кромок сляба и скалывания окалины. За окалиноломателем установлен гидросбив.

Рольганг обеспечен направляющими передвижными линейками реечного типа с приводом с 16 кВт электродвигателя.

Диаметр валков окалиноломателя 900-1000 мм, длина бочки 700 мм, материал сталь 55Х. Рабочий раствор валков 550-1200 мм, скорость установки 7,35 мм/с. Станина окалиноломателя литая, стальная. Максимальное усилие металла на валки 3 МН. Скорости прокатки 1,0 и 1,46 м/с, допускаемое обжатие 1-5% от ширины сляба, но < 30 мм.

Разбивка ширины сляба до необходимой ширины раската и получения подката для универсальной клетки проводится в уширительной реверсивной двухвалковой клетки. Толщина подката должна быть не менее двухкратной толщины листа. Температура металла: перед универсальной клетью 1100-1200°C, начала прокатки > 1050-1020°C, конца прокатки 800-950°C в зависимости от толщины прокатываемых листов и стали. Станины универсальной клетки закрытого типа из стали ЗЛ-Ш. Высота окна станины 3700 мм, ширина 1430 мм, расстояние между осями 3100 мм.

Диаметр рабочих валков 980-1100 мм, длина 2300 мм, материал сталь 60ХН, масса валка 26 т. Максимальный подъем верхнего валка 47 см, скорость 2-40 см/с. Вкладыши подушек рабочих валков текстолитовые. Диаметр нажимного винта 48 см, шаг нарезки 48 мм, смазка циркуляционная жидкая. Уравновешивание верхнего валка гидравлическое, давление в цилиндре 9,8 Мпа. Привод валков от 2,56 МВт электродвигателя постоянного тока ПБК 380/125 (25/50 об/мин). Шпиндельное устройство универсальное. Материал шпинделей сталь 40Х, угол наклона 0,033 рад. Шестеренная клеть двухвалковая. Диаметр начальной окружности 1100 мм [1].

Перед уширительной клетью установлен рольганг с восемью коническими роликами для поворота слябов при разбивке ширины. Диаметр бочки роликов 400/320 мм, длина 3090 мм, шаг роликов 340 мм. Привод рольганга от двух 46 кВт двигателей ДП-62 (760 об/мин), $i_p = 3,5$.

Манипуляторные линейки перед уширительной клетью предназначены для перемещения и установки раската по оси прокатки. Максимальная масса устанавливаемых заготовок 5,5 т, скорость движения линеек 0,4 м/с, максимальный раствор 3,4 м, минимальный 0,6 м. Привод манипулятора гидравлический.

Универсальная клеть 2300 предназначена для прокатки подката толщиной 40-45 мм в листы толщиной 6-20 мм или подката для линии 1700 толщиной 18 мм и содержит вертикальные и горизонтальные валки.

Диаметр вертикальных рабочих валков 550-600 мм, длина бочки 250 мм, материал сталь 45; подшипник качения конические; привод от 200/300 кВт электродвигателя постоянного тока МПВ 42,3/78 (500/1000 об/мин), передаточное число привода вертикальной клетки $i_p = 5,6$. Величина раскрытия вертикальных валков 55-210 см, скорость установки валков 8,13 мм/с.

Горизонтальные валки собраны в четырехвалковую реверсивную клеть. Диаметр бочки рабочих валков 700-750 мм, длина 2300 мм, материал легированный двухслойный чугуны; подшипники четырехрядные, роликовые конические. Диаметр бочки опорных валков 1300-1400 мм, длина 2300 мм, материал сталь 90ХФ или 60 ХН, подшипники четырехрядные роликовые конические.

Максимальный рабочий раствор валков 200 мм, минимальный 100 мм. Скорости установки валков 1,5-10-15 м/с. Диаметр нажимного винта 520 мм, шаг упорной резьбы 24 мм, уравновешивание верхнего валка гидравлическое (давление в цилиндре 9,8 Мпа). Станина клетки закрытого типа из стали ЗЛ-III. Привод клетки от 4560 кВт электродвигателя постоянного тока ПБК 250/145-2 (70/120 об/мин), скорость прокатки 1,5-5,1 м/с.

Шпиндельное устройство универсальное, материал шпинделей сталь 34ХН3М, диаметр тела шпинделей 36 см; длина по осям шарниров 3,8 м, максимальный угол наклона 3°. Уравновешивание шпинделей: нижнего - пружинное, верхнего гидравлическое.

Перевалка клетки осуществляется с помощью перевалочных тележек. Рабочие валки, также валки окалиноломателей меняют при помощи ребристых муфт одним мостовым краном грузоподъемностью 980 кН.

После универсальной клетки технологический процесс делится на два потока: производство листов и рулонов [5].

В первом потоке листы, прокатанные на универсальной клетке до необходимой толщины подаются рольгангами к гильотинным ножницам и дальше - к правильной машине горячей правки.

Гильотинными ножницами горячей резки удаляют передний и задний концы листа размерами (4-20)X(600-2100) мм. Усилие резания 1176 кН, длина режущей кромки ножа 2300 мм, число резов в минуту 16, наибольшее раскрытие ножей 95 мм, температура горячей резки > 700°C. Ножницы оборудованы гидросбрасывателем обрезков. Давление в гидросистеме 5 Мпа. Привод от 80 кВт электродвигателя (584 об/мин).

Рольганг перед ножницами снабжен раздвижными линейками. Максимальный раствор линеек 240 см, минимальный 75 см, скорость раздвижения 25 мм/с, привод от 7,5 кВт электродвигателя (905 об/мин).

Семироликовая передвижная правильная машина: толщина листов 4-35 мм, температура 700°C, диаметр роликов 300 мм, длина - 2500 мм, привод осуществляется от двух 100 кВт двигателей (584 об/мин), скорость правки 1,93 м/с.

При дальнейшей прокатке полосы на стане 1700 правильную машину отодвигают и на ее место устанавливают рольганг с индивидуальным приводом роликов. Механизм передвижения правильной машины приводится от 28 кВт электродвигателя (680 об/мин).

За правильной машиной установлены рольганг и опускающийся упор, ход пневматического цилиндра которого 100 мм, давление воздуха в цилиндр (0,4-0,5 Мпа), диаметр цилиндра 250 мм, ход щита упора 90 мм.

Во втором потоке листы из нержавеющей стали поступают в роликовую печь, где нагреваются до 1100-1160°C. Нагретая полоса поступает по рольгангу к летучим ножницам, на которых при необходимости обрезают передние и задние концы, после чего подкат передают в чистовую группу стана [3].

Летучие ножницы барабанного типа приводятся 630кВт электродвигателем (750 об/мин), наибольшее разрезаемое сечение (10-24)x1550 мм, длина 6800 мм. Скорость движения полосы 0,60-2,0 м/с. Температура разрезаемого металла 900-1000°C. Усилие реза 1480 кН. Точность реза ± 25 мм.

Чистовая группа клетей состоит из окалиноломателя с горизонтальными валками и шести четырехвалковых клетей, расположенных последовательно одна за другой. Расстояние между клетями 6 мм. Станины закрытого типа, литые. Рабочий подъем верхнего рабочего валка 90 мм, максимальный подъем верхнего рабочего валка при перевалке 250 мм. Максимальное усилие металла на валки 29,5 МН. Клетки снабжены устройством для перевалки, проводками и петледержателями. Валки клетей №3 и №4 приводятся от главных двигателей через редуктор, остальные непосредственно от двигателей через шестеренные клетки. Скорость прокатки в последней чистовой клетке 11 м/с.

Рольганг из 161 ролика за чистовой группой делится на три: первый - непосредственно за чистовой группой, второй - промежуточный, на котором полоса охлаждается водой под давлением 1,5 Мпа, третий - перед моталками.

Перед смоткой в рулоны полосы охлаждают в пятисекционной установке ламинарного охлаждения. Расстояние от восьмой клетки до первой секции 21 м, от первой секции до второй - 9 м, далее по 12 м. Расстояние от пятой секции до оси первой моталки 35,88 м. Расход воды 250 м³/ч.

Рольганг перед моталками оборудован раздвижными и направляющими линейками. Максимальный раствор раздвижных линеек 1900 мм, минимальный 900 мм, скорость раздвижения 20,8 мм/с. Привод линеек - от 7,5 кВт электродвигателя (540 об/мин).

Максимальный раствор направляющих линеек 1820 мм, минимальный 600 мм, скорость раздвижения 25 мм/с. Привод линеек от 7,5-кВт электродвигателя (905 об/мин).

Для смотки полосы в рулоны служат три концевые моталки. Каждая моталка снабжена тянущими роликами, барабанами с гидравлическим регулированием диаметра, восемью формующими роликами, пневматическим сталкивателем, кантователем и укладчиком рулонов на приемный конвейер [1].

Толщина наматываемой полосы 2-10 мм, ширина 600-1550 мм, скорость наматывания 4,5-11 м/с. Максимальная температура полосы 600°C. Масса рулона 5,2 т. Наружный диаметр рулона 850-1300 мм. Диаметр барабана 728-750 мм, длина 2350 мм. Привод барабана от 140 кВт электродвигателя (610 об/мин). Сокращение диаметра барабана осуществляется с помощью гидросистемы (с давлением 1,5 Мпа). Диаметр верхнего тянущего ролика 900 мм, нижнего 500 мм, длина роликов 1700 мм, привод от двух 68 кВт электродвигателей (520 об/мин). Диаметр формирующих роликов 300 мм, длина бочки 1700 мм, максимальный ход 350 мм. Приводятся только четыре ролика от 16 кВт электродвигателя (1170 об/мин).

Между моталками установлены передаточные рольганги, оборудованные направляющими линейками со скоростью передвижения 20 мм/с. Привод линеек — от 7,5 кВт электродвигателя (905 об/мин).

С моталок рулоны поступают на приемный шаговый конвейер. Размеры передаваемого рулона: наружный диаметр 850-1400 мм, внутренний 700 мм, высота 600-1550 мм, максимальная масса 8 т. Шаг между рулонами 3,1 м, скорость транспортировки 0,05-0,2 м/с. Диаметр роликов стеллажа 200 мм,

число роликов 150. Транспортным цепным конвейером рулоны транспортируются к подъемно-поворотному столу. Общая длина конвейера 83,8 м, секций две, скорость транспортировки 0,05-0,2 м/с. Одновременно на конвейере могут находиться 14 рулонов. Привод конвейер от 16 кВт электродвигателя ДП-41 (741 об/мин).

Рулоны передаются с конвейера на межцеховой транспортер подъемно-поворотным столом. Масса поднимаемого рулона 0,8-4,0 т. Время подъема стола 4,5 с, опускания 4,5 с, поворота 5,0 с. Общая длина межцехового цепного транспортера 195,4 м, скорость движения цепи 5-10 см/с.

Пролет стана обслуживается тремя мостовыми кранами грузоподъемностью 50/10, 100/20 и 75/20 т [3].

2.3. Оборудование технология отделки готового проката

Листы, прокатанные на универсальной клети, передаются на транспортер, где частично охлаждаются, и по нему - в соседний пролет на охлаждающий рольганг с серебристыми роликами. На этом рольганге полосы охлаждаются водой, а затем поступают на инспекторские столы для осмотра и разметки под резку дисковыми и гильотинными ножницами с нижним резом.

На дисковых ножницах с кромкокрошителями обрезаются листы шириной 600-2100 мм, толщиной 4-20 мм. Максимальная ширина обрезаемых кромок 100 мм. Диаметр ножей дисковых ножниц 920-1000 мм, скорость резания 0,375-0,41 м/с. Число резов кромкокрошительных ножниц в минуту 21, длина обрезаемых кромок 1,2 м, усилие резание 1,37 МН. Гильотинные ножницы с нижним резом предназначены для резки холодных полос толщиной 4-20 мм. Ширина разрезаемого листа 0,600-2,0 м. Длина режущих кромок ножа 2,3 м. Усилие реза 3,1 МН, число резов в минуту 10, число ходов в минуту 15. Наибольшее раскрытие ножей 95 мм. Мощность привода ножниц 125 кВт, число оборотов в минуту 975. За ножницами установлен рольганг, состоящий из 56 роликов с индивидуальным приводом.

В потоке с ножницами установлены правильная машина, гильотинные ножницы с верхним резом для разделки бракованных листов и три листоукладчика с карманами. Продолжительность цикла укладки листа 8 с.

Листоправильная машина предназначена для правки листов толщиной 8 - 20 мм, шириной 2,0 м. Скорость правки 0,75 м/с. Правильных роликов семь, шаг роликов 360 мм, диаметр крайних верхних роликов 370 мм, остальных 320 мм, длина бочки опорных роликов 3600 мм, рабочих 2300 мм, скорость подъема верхних валков 0,5 мм/с, привод от 160 кВт электродвигателя (735 об/мин) [5].

За правильной машиной установлен рольганг из 15 роликов диаметром 300 мм, длиной бочки 2,4 м, шаг роликов 700 мм. Окружная скорость 0,75 м/с. Привод роликов индивидуальный от 1,4 кВт электродвигателя (450 об/мин).

За правильной машиной установлен рольганг из 15 роликов диаметром 300 мм, длиной бочки 2,4 м, шаг роликов 700 мм. Окружная скорость 0,75 м/с. Привод роликов индивидуальный от 1,4 кВт электродвигателя (450 об/мин).

Листоукладчик с карманами рычажного типа предназначен для укладки готовых мерных листов (4-20)X(600-2000)X(1500-6500) мм массой $\leq 2,0$ т в 15-т пакеты высотой ≤ 300 мм. Продолжительность цикла укладки 8 с. Привод осуществляется от 11 кВт электродвигателя, число оборотов в минуту 735. В линии установлено четыре кармана со сбрасывателями.

Ножницы листовые с верхним резом предназначены для разделки. Давление на нож 2,5 МН. Толщина разрезаемого листа ≤ 32 мм, ширина $\leq 3,2$ м. Число резов в минуту при максимальной толщине семь. Максимальное расстояние между ножами 120 м, минимальное 75 мм. Привод от 125 кВт электродвигателя (975 об/мин). Ножницы оборудованы полем «гусиных шеек».

Все прокатанные листы делят на две группы: одну подвергают термической обработке к травлению, другую только травлению.

Термическая обработка листов осуществляется в роликовой проходной четырехзонной закалочной печи или в колпаковых печах для отжига. Закалке подвергают листы из нержавеющей сталей. Размеры роликовой закалочной печи: ширина 2,5 м, длина 31 м, число роликов 77, диаметр роликов 275 мм, шаг 410 мм [1].

Размеры закаливаемых листов: (4-20)X(600-2000)X(1500-6500) мм.

Печь отапливается коксодоменной смесью теплотой сгорания 5900 кДж/м³ через 49 инжекционных горелок. Газ подогревается до 300 °С в металлических трубчатых рекуператорах. Листы нагревают до 850 °С. Производительность печи 10 т/ч. Скорость роликов при загрузке и выгрузке 1 м/с, при покачивании 0,2 м/с. Закаливают листы в закалочном прессе. Сила зажатия закаливаемого листа 790 кН, подъем нижней рамы 250 мм, длина рабочей клетки 8000 мм. Давление воды 0,8 Мпа, диаметр отверстия для подачи воды 5 мм.

Две колпаковые печи предназначены для отжига листов длиной ≤ 6500 мм, шириной 1000-2100 мм, толщиной 4-20 мм. Максимальная высота стопы 1500 мм. Масса садки 100 т. Печи отапливаются коксодоменной смесью теплотой сгорания 5860 МДж/м³. Температура поддерживается в пределах 870-890 °С. Печь состоит из одного наружного футерованного колпака, трех внутренних колпаков и трех футерованных стендов. Ширина печи 2780 мм, длина 6720 мм, производительность 2,5 т/ч.

Отожженные листы в зависимости от толщины правят на двух отдельно стоящих правильных агрегатах.

На первом правят листы размерами (4-10)X2000 мм. Агрегат состоит из раскладчика опрокидывателя стопы, листоукладчика, подающего рольганга, листопрямильной машины и отводящего рольганга с укладчиком листов в карманы. Листопрямильная машина снабжена девятью рабочими роликами и 21 опорным. Диаметры рабочих роликов 230 мм, опорных 240 мм, длины рабочих роликов 2300 мм, опорных 2500 мм. Шаг роликов 250 мм. Наибольший раствор роликов 100 мм, наименьший 10 мм. Привод - от

160кВт электродвигателя (735 об/мин). Скорость правки 0,75 м/с. На другом агрегате правят листы толщиной 8-20 мм, шириной 2м. Рабочих роликов семь, диаметр роликов 320, мм, длина бочки 2,3 м. Прочие характеристики те же, что и у первого агрегата.

После термической обработки и правки листы на троллейной тележке передают в травильное отделение. Травление листов из нержавеющей и углеродистых сталей ведут в разных потоках. Нержавеющие листы подвергают щелочному-кислотному травлению с отбелкой, а углеродистые кислотному.

Нержавеющие листы в корзинах загружают краном в щелочную ванну состава 80 % каустической соды и 20 % натриевой селитры и выдерживают ~30 мин. Температура расплава 450-550°C. Затем корзины краном переносят в ванну с холодной проточной водой. После промывки следует травление в кислотной ванне с концентрацией раствора 18 % H₂SO₄ и 5% NaCl. Температура раствора 60-80°C, время выдержки в ванне 5-10 мин. Далее промывка в горячей воде при 60°C и отбелка в азотнокислой ванне с концентрацией 6-8 % HNO₃ в течение 3-10 мин. Температура раствора 40-50. За отбелкой следует промывка листов в горячей воде с температурой 60°C. Углеродистые листы травят 30 мин в растворе 15 % H₂SO₄ и 3 % NaCl при 60-80°C. Затем следует промывка в горячей воде при 50-60°C [5].

Промытые и нержавеющей, и углеродистые листы электротележкой подают на чистильно-моечный агрегат. Скорость движения листа в моечном агрегате 0,5-2,0 мм/с, окружная скорость щеточных роликов 3,7-7,4 м/с, диаметр щеточного ролика 270-350 мм, диаметр транспортных роликов 180 - 210 мм, длина роликов 2100 мм, температура воды 80-90°C. Агрегат приводится 13 кВт двигателем (920 об/мин).

После промывки листы сушатся, затем листоукладчиком их сбрасывают по одному в карман, где набирается стопка. Листы в стопках из кармана убирают мостовым краном и передают на загрузочное устройство агрегата инспекторского осмотра. Годные листы набирают в стопы и транспортируют

на склад готовой продукции. Листы с местными дефектами сбрасываются в отдельный карман и передаются краном на агрегат из двух наждачных машин для зачистки дефектов.

На складе листы сортируют по маркам стали и плавкам, упаковывают и взвешивают. В отделочном пролете работают 11 мостовых кранов: два 7,5 т, один 50/10 т, шесть 15 т, один 30/5 т. Склад готовой продукции закрытой конструкции; площадь склада 2240 м² [1].

3. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННЫХ СВОЙСТВ ГОТОВОГО ПРОКАТА

В данной выпускной квалификационной работе мы рассмотрели современные тенденции развития технологии производства толстого листа. Толстолистовой прокат является одним из основных видов продукции в металлургии. Ежегодно изготавливаются десятки миллионов тонн готового проката. В то же время технология производства толстолистого проката совершенствуется в силу усложняющихся требований конструкторов и изготовителей конструкций. И поэтому требования к качеству продукции возрастают.

В связи с этим, целью данной выпускной квалификационной работы является разработка технологических режимов листовой горячей прокатки для марки стали ХН78Т, с целью получения заданных свойств готового проката на стане 2300/1700.

Основной параметр, на который мы будем ориентироваться для получения заданных свойств проката, это температура. Предъявляемые требования приведены в таблицах 3.1, 3.2, 3.3.

Таблица 3.1. Нагрев слэбов в методических печах для марки стали ХН78Т.

Марка сплава	Продолжительность нагрева, ч-мин	Температура по зонам печи, °С				Температура металла на выдаче из печи, °С
		Томильная	Первая сварочная	Вторая сварочная	Нижняя	
1	2	3	4	5	6	7
ХН78Т (ЭИ435)	от 3-50 до 4-50	(1200±20)	(1200±20)	1200 ₋₅₀	1160 ₋₁₀₀	1200 ₋₄₀ ⁺¹⁰

Таблица 3.2. Режим подогрева подкатов в подогревательной печи ХН78Т.

Толщина подката, мм	Продолжительность нагрева, мин	Температура, °С		
		Подкат перед печью	По зонам печи	Подкат после печи (начало прокатки)
Сплав марки ХН78Т (ЭИ435)				
18	От 4,0 до 5,0	От 800 до 1000	(1170±20)	1120 ⁺²⁰

Таблица 3.3. Параметры температуры прокатки на стане 2300/1700 для марки стали ХН78Т (ЭИ435).

Температура, °С	Марка стали
Начало прокатки	(1100±50)
Конец прокатки	(1000±50)

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие расчёты:

1. Расчёт режимов обжатия и формоизменения стали ХН78Т на стане 2300/1700.
2. Расчёт скоростных режимов для каждой группы клетей.
3. Расчёт температурных режимов процесса.
4. Расчёт условия захвата.
5. Расчёт энергосиловых параметров.

3.1. Расчет режимов обжатия и формоизменения стали ХН78Т (ЭИ435) на стане 2300/1700

Исходные данные для расчетов представлены в таблице 3.1.1

Таблица 3.1.1. Исходные данные

Заготовка	Высота, мм	160
	Ширина, мм	750
	Длина, мм	1900
Готовый профиль	Высота, мм	5
	Ширина, мм	1100
Материал		ХН78Т (ЭИ435)
Температура, °С		1210
Диаметр Валка	D ₁ , Уширительной клетки №1 2300, мм	1100
	D ₂ , Универсальной клетки №2 2300, мм	700
	D ₃ , Непрерывной группы клеток 1700, мм	900

Величина обжатия в первом проходе принимаем

$$\Delta h = 20 \text{ мм}$$

Рассчитаем высоту полосы на выходе

$$h_1 = h_0 - \Delta h, \quad (1)$$

где h_0 – высота полосы до входа в клеть

$$h_1 = 160 - 20 = 140 \text{ мм}$$

Уширение определяем по формуле [7]

$$\Delta b = \frac{0,4 \cdot \Delta h \cdot l}{h_0}, \quad (2)$$

где l – длина дуги захвата, определяемая по формуле

$$l = \sqrt{\Delta h \cdot \left(\frac{D_1}{2}\right)}, \quad (3)$$

где D_1 – диаметр бочки валка

$$l = \sqrt{20 \cdot \left(\frac{1100}{2}\right)} = 104,88 \text{ мм}$$

$$\Delta b = \frac{0,4 \cdot 20 \cdot 104,88}{160} = 5,24 \text{ мм}$$

Найдём ширину полосы на выходе

$$b_1 = b_0 + \Delta b, \quad (4)$$

где b_0 – ширина полосы на входе в клеть

Δb – уширение

Ширина заготовки $b_0 = 1900 \text{ мм}$

$$b_1 = 1900 + 5,24 = 1905,24 \text{ мм}$$

Рассчитаем площадь сечения полосы до и после прокатки

$$S_0 = b_0 \cdot h_0 \quad (5)$$

$$S_0 = 160 \cdot 1900 = 304000 \text{ мм}^2$$

$$S_1 = b_1 \cdot h_1 \quad (6)$$

$$S_1 = 140 \cdot 1905,24 = 266734,17 \text{ мм}^2$$

Найдём вытяжку за проход

$$\lambda = \frac{S_0}{S_1} \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{304000}{266734,17} = 1,14$$

Определим длину полосы на выходе из клетки

$$l_1 = l_0 \cdot \lambda, \quad (8)$$

где l_0 – длина полосы на входе в клеть

$$l_1 = 750 \cdot 1,14 = 854,78 \text{ мм}$$

Рассчитаем степень деформации

$$\varepsilon = 1 - \frac{h_1}{h_0} \quad (9)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{140}{160} \cdot 100 = 12,5 \%$$

Найдем угол захвата полосы по формуле

$$\alpha_0 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h}{D}\right) \quad (10)$$

$$\alpha_0 = \arccos\left(1 - \frac{20}{1100}\right) = 0,19 \cdot \frac{180}{\pi} = 10,89^\circ$$

Остальные проходы рассчитываются аналогично. Результаты расчетов занесены в таблицы 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4.

Таблица 3.1.2. Расчет режимов обжатия и формоизменения для уширительной клетки № 1

Параметр	Номер прохода					
	1	2	3	4	5	6
$h_0, \text{ мм}$	160,00	140,00	125,00	115,00	105,00	95,00
$h_1, \text{ мм}$	140,00	125,00	115,00	105,00	95,00	85,00
$\Delta h, \text{ мм}$	20,00	15,00	10,00	10,00	10,00	10,00
$\varepsilon, \%$	12,50	10,71	8,00	8,70	9,52	10,53
$\alpha_0, ^\circ$	0,19	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13
$l, \text{ мм}$	104,88	90,83	74,16	74,16	74,16	74,16
$b_0, \text{ мм}$	1900,00	1905,24	1909,14	1911,51	1134,44	1137,27
$b_1, \text{ мм}$	1905,24	1909,14	1911,51	1914,09	1137,27	1140,39
$\Delta b, \text{ мм}$	5,24	3,89	2,37	2,58	2,83	3,12
$l_0, \text{ мм}$	750,00	854,78	955,41	1037,20	1914,09	2110,32
$l_1, \text{ мм}$	854,78	955,41	1037,20	1134,44	2110,32	2352,13
$\Delta l, \text{ мм}$	104,78	100,62	81,79	97,25	196,23	241,81
λ	1,14	1,12	1,09	1,09	1,10	1,11
$S_1, \text{ мм}^2$	266734	238642	219823	200979	108040	96933
$S_0, \text{ мм}^2$	304000	266734	238642	219824	119117	108040

Продолжение таблицы 3.1.2

Параметр	Номер прохода						
	7	8	9	10	11	12	13
$h_0, мм$	85,00	76,00	67,00	58,00	49,00	41,00	35,00
$h_1, мм$	76,00	67,00	58,00	49,00	41,00	35,00	29,00
$\Delta h, мм$	9,00	9,00	9,00	9,00	8,00	6,00	6,00
$\varepsilon, \%$	10,59	11,84	13,43	15,52	16,33	14,63	17,14
$a_0, ^\circ$	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,10	0,10
$l, мм$	70,36	70,36	70,36	70,36	66,33	57,45	57,45
$b_0, мм$	1140,39	1143,37	1146,70	1150,49	1154,85	1159,18	1162,55
$b_1, мм$	1143,37	1146,70	1150,49	1154,85	1159,18	1162,55	1166,49
$\Delta b, мм$	2,98	3,33	3,78	4,37	4,33	3,36	3,94
$l_0, мм$	2352,13	2623,82	2967,62	3416,85	4029,14	4797,32	5603,46
$l_1, мм$	2623,82	2967,62	3416,85	4029,14	4797,32	5603,46	6739,96
$\Delta l, мм$	271,69	343,80	449,23	612,29	768,18	806,14	1136,50
λ	1,12	1,13	1,15	1,18	1,19	1,17	1,20
$S_1, мм^2$	86896	76829	66728	56587	47526	40689	33828
$S_0, мм^2$	96933	86896	76829	66728	56587	47527	40689

Таблица 3.1.3. Расчет режимов обжатия и формоизменения для универсальной клетки № 2

Параметр	Номер прохода		
	14	15	16
$h_0, мм$	29,00	25,00	21,00
$h_1, мм$	25,00	21,00	18,00
$\Delta h, мм$	4,00	4,00	3,00
$\varepsilon, \%$	13,79	16,00	14,29
$a_0, ^\circ$	0,11	0,11	0,09
$l, мм$	37,42	37,42	32,40
$b_0, мм$	1166,49	1168,55	1170,94
$b_1, мм$	1168,55	1170,94	1172,80
$\Delta b, мм$	2,06	2,39	1,85
$l_0, мм$	6739,96	7804,54	9272,12
$l_1, мм$	7804,54	9272,12	10800,40
$\Delta l, мм$	1064,58	1467,58	1528,27
λ	1,16	1,19	1,16
$S_1, мм^2$	29213	24590	21110
$S_0, мм^2$	33828	29213	24590

Таблица 3.1.4. Расчет режимов обжатия и формоизменения чистой непрерывной группы клетей 1700

Параметр	Номер прохода					
	17	18	19	20	21	22
$h_0, мм$	18	12,5	9,2	7,6	6,3	5,4
$h_1, мм$	12,5	9,2	7,6	6,3	5,4	5,0
$\Delta h, мм$	5,5	3,3	1,6	1,3	0,9	0,4
$\varepsilon, \%$	30,56	26,40	17,39	17,11	14,29	7,41
$a_0, ^\circ$	0,11	0,09	0,06	0,05	0,04	0,03
$l, мм$	49,75	38,54	26,83	24,19	20,12	13,42
$b_0, мм$	1172,8	1178,9	1182,9	1184,8	1186,5	1187,6
$b_1, мм$	1178,9	1182,9	1184,8	1186,5	1187,6	1188,0
$\Delta b, мм$	6,08	4,07	1,87	1,65	1,15	0,40
$l_0, мм$	10800,4	15472,4	20949,9	25320,5	30502,7	35552,0
$l_1, мм$	15472,4	20949,9	25320,5	30502,7	35552,0	38383,3
$\Delta l, мм$	4671,96	5477,55	4370,55	5182,25	5049,32	2831,31
λ	1,43	1,35	1,21	1,20	1,17	1,08
$S_1, мм^2$	14735	10883	9005	7475	6413	5940
$S_0, мм^2$	21110	14735	10883	9005	7475	6413

3.2. Расчет скоростных режимов

3.2.1. Расчёт скоростных режимов для клетей №1, №2.

Величина оборотов двигателей, исходя из технических характеристик, для каждой клетки будет своя.

Рассчитаем скоростные параметры для первого прохода [6]. Первый проход осуществляется в уширительной клетки №1, для неё число оборотов двигателя

$$n_{\text{дв}} = 3 \text{ об/мин}$$

Определим частоту вращения валков:

$$n_g = \frac{30 \cdot n_{\text{дв}}}{\pi} \quad (11)$$

$$n_g = \frac{30 \cdot 3}{3,14} = 28,66 \text{ об/мин}$$

Определим скорость на выходе:

$$V_1 = \frac{n_g \cdot \pi \cdot R}{30 \cdot 1000} \quad (12)$$

$$V_1 = \frac{28,66 \cdot 3,14 \cdot 550}{30 \cdot 1000} = 1,65 \text{ м/с}$$

Найдём скорость на входе в валки:

$$V_0 = \frac{V_1}{\lambda} \quad (13)$$

$$V_0 = \frac{1,65}{1,14} = 1,45 \text{ м/с}$$

Остальные проходы рассчитываются аналогично. Результаты расчетов занесены в таблицы 3.2.1, 3.2.2.

Таблица 3.2.1. Расчет скоростных параметров для уширительной клетки № 1

Параметры	Номер прохода								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V_0, \text{м/с}$	1,45	1,48	1,52	1,51	1,50	1,48	1,48	1,46	1,43
$V_1, \text{м/с}$	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
$n_6, \text{об/мин}$	28,66	28,66	28,66	28,66	28,66	28,66	28,66	28,66	28,66
$n_{06}, \text{об/мин}$	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00

Продолжение таблицы 3.2.1.

Параметры	Номер прохода			
	10	11	12	13
$V_0, \text{м/с}$	1,40	1,39	1,41	1,37
$V_1, \text{м/с}$	1,65	1,65	1,65	1,65
$n_6, \text{об/мин}$	28,66	28,66	28,66	28,66
$n_{06}, \text{об/мин}$	3,00	3,00	3,00	3,00

Таблица 3.2.2. Расчет скоростных параметров для универсальной клетки №2

Параметры	Номер прохода		
	14	15	16
$V_0, \text{м/с}$	1,51	1,47	1,50
$V_1, \text{м/с}$	1,75	1,75	1,75
$n_6, \text{об/мин}$	47,77	47,77	47,77
$n_{06}, \text{об/мин}$	5,00	5,00	5,00

3.2.2. Расчёт скоростных режимов для непрерывной группы клеток 1700

Зададим скорость на входе

$$V_0 = 2,50 \text{ м/с}$$

Определим скорость на выходе:

$$V_1 = V_0 \cdot \lambda \quad (14)$$

$$V_1 = 2,50 \cdot 1,43 = 3,58 \text{ м/с}$$

Определим частоту вращения вала:

$$n_e = \frac{30 \cdot V_1 \cdot 1000}{\pi \cdot R} \quad (15)$$

$$n_e = \frac{30 \cdot 3,58 \cdot 1000}{3,14 \cdot 450} = 76,00 \text{ об/мин}$$

Определим обороты вала двигателя:

$$n_{\text{дв}} = \frac{\pi \cdot n_e}{30} \quad (16)$$

$$n_{\text{дв}} = \frac{\pi \cdot 76,00}{30} = 7,95 \text{ об/мин}$$

Остальные проходы рассчитываются аналогично. Результаты расчетов занесены в таблице 3.2.3.

Таблица 3.2.3. Расчет скоростных параметров для чистовой непрерывной группы клеток 1700.

Параметры	Номер прохода					
	17	18	19	20	21	22
$V_0, \text{м/с}$	2,50	3,58	4,85	5,86	7,06	8,23
$V_1, \text{м/с}$	3,58	4,85	5,86	7,06	8,23	8,88
$n_e, \text{об/мин}$	76,00	102,91	124,37	149,83	174,63	188,54
$n_{\text{дв}}, \text{об/мин}$	7,95	10,77	13,02	15,68	18,28	19,73

3.3. Расчет температурных режимов процесса

Рассчитаем периметр поперечного сечения полосы на входе

$$P = (h_0 + b_0) \cdot 2 \quad (17)$$

$$P = (160 + 750) \cdot 2 = 1820 \text{ мм}$$

Найдем площадь поперечного сечения полосы на входе

$$\omega = h_0 \cdot b_0 \quad (18)$$

$$\omega = 160 \cdot 750 = 120000 \text{ мм}^2$$

Рассчитаем значение сопротивления деформации методом термомеханических коэффициентов [1]

$$\sigma_s = N \cdot e^{-k_1 \cdot t} \cdot \varepsilon^{k_2} \cdot u^{k_3}, \quad (19)$$

где N, k_1, k_2, k_3 - постоянные коэффициенты, зависящие от материала

ε - степень деформации

u - скорость деформации

$$\sigma_s = 8900 \cdot 2,71^{-0,0032 \cdot 1197,13} \cdot 0,13^{0,35} \cdot 1,97^{0,098} = 99,66 \text{ МПа}$$

Определим расстояние движения полосы.

В первом проходе расстояние перемещения полосы учитывается от печи до клетки №1. Со второго по шестнадцатый проходы, расстояние перемещения принимаем равным длине прокатываемой полосы. В семнадцатом проходе расстояние берём от подогревательной печи до клетки №3. И с восемнадцатого по двадцать второй проходы, расстояние перемещение полосы принимаем равным меж клетевому расстоянию.

В первом проходе расстояние берём от нагревательной печи до уширительной клетки №1

$$l = 42 \text{ м}$$

Скорость движения полосы:

$$V_n = 2 \text{ м/с}$$

Время движения полосы:

$$\tau = \frac{l}{V_n} \quad (20)$$

$$\tau = \frac{42}{2} = 21 \text{ сек}$$

Температура полосы на входе в уширительную клетку №1:

$$t_{ex} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{0,0255 \cdot \Pi \cdot \tau}{\omega} + \left(\frac{1000}{t_n + 273}\right)^3}} - 273, \quad (21)$$

где Π – периметр поперечного сечения полосы на входе;

τ – время движения полосы;

ω – площадь поперечного сечения полосы на входе;

t_n – температура нагрева.

$$t_{ex} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{0,0255 \cdot 1820 \cdot 21}{120000} + \left(\frac{1000}{1210 + 273}\right)^3}} - 273 = 1197,13^\circ\text{C}$$

Деформационный разогрев:

$$\Delta t_{def} = 0,183 \cdot \sigma_s \cdot \ln \lambda \quad (22)$$

$$\Delta t_{def} = 0,183 \cdot 99,66 \cdot \ln 1,14 = 2,39$$

Температура полосы на выходе из уширительной клетки №1:

$$t_{вых} = t_{ex} + t_{def} \quad (23)$$

$$t_{вых} = 1197,13 + 2,39 = 1199,52^\circ\text{C}$$

Остальные проходы рассчитываются аналогично. Результаты расчетов занесены в таблицы 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3

Таблица 3.3.1. Расчет температурных режимов процесса для уширительной клетки № 1.

Параметр	Номер прохода							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$П, мм$	1820,0	4090,5	4068,3	4053,0	2478,9	2464,5	2450,8	2438,7
$\omega, м^2$	120,0	266,7	238,6	219,8	119,1	108,0	96,9	86,9
$l, м$	42	0,85	0,96	1,04	1,13	2,11	2,35	2,62
$V_n, м/с$	2,0	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
$\tau, сек$	21	10,52	10,58	10,63	10,69	11,28	11,43	11,59
$t_{ex}, ^\circ C$	1197,1	1193,1	1188,0	1181,8	1174,9	1167,1	1158,7	1149,4
$\Delta t, ^\circ C$	2,39	1,95	1,31	1,51	1,75	2,09	2,18	2,66
$t_{вых}, ^\circ C$	1199,5	1195,0	1189,3	1183,3	1176,6	1169,2	1160,9	1152,0

Продолжение таблицы 3.3.1.

Параметр	Номер прохода				
	9	10	11	12	13
$П, мм$	2427,4	2416,9	2407,7	2400,3	2395,0
$\omega, м^2$	76,8	66,7	56,6	47,5	40,7
$l, м$	2,97	3,42	4,03	4,80	5,60
$V_n, м/с$	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
$\tau, сек$	11,80	12,07	12,44	12,91	13,40
$t_{ex}, ^\circ C$	1139,2	1127,9	1115,1	1099,7	1080,8
$\Delta t, ^\circ C$	3,32	4,30	4,88	4,40	5,97
$t_{вых}, ^\circ C$	1142,5	1132,2	1119,9	1104,1	1086,8

Таблица 3.3.2. Расчет температурных режимов процесса для универсальной клетки №2

Параметр	Номер прохода		
	14	15	16
$П, мм$	2390,9	2387,1	2383,9
$\omega, м^2$	33,8	29,2	24,6
$l, м$	37,78	7,80	9,27
$V_n, м/с$	1,75	1,75	1,75
$\tau, сек$	21,59	14,46	15,30
$t_{ex}, ^\circ C$	1045,1	1016,1	983,1
$\Delta t, ^\circ C$	5,06	6,97	6,61
$t_{вых}, ^\circ C$	1050,2	1023,1	989,7

Таблица 3.3.3. Расчет температурных режимов процесса для чистой непрерывной группы клетей 1700.

Параметр	Номер прохода					
	17	18	19	20	21	22
$П, мм$	2381,5	2382,7	2384,3	2384,8	2385,5	2386,0
$\omega, м^2$	21,1	14,7	10,8	9,0	7,4	6,4
$l, м$	38,17	18	18	18	18	18
$V_n, м/с$	3,58	4,85	5,86	7,06	8,23	8,88
$\tau, сек$	10,65	3,71	3,07	2,54	2,18	2,02
$t_{ex}, ^\circ C$	1145,9	1125,8	1104,6	1084,5	1064,9	1045,0
$\Delta t, ^\circ C$	13,38	11,90	6,97	7,46	6,23	2,59
$t_{вых}, ^\circ C$	1159,3	1137,7	1111,6	1092,0	1071,2	1047,6

3.4. Расчет условий захвата

Коэффициент трения найдем по эмпирической зависимости [7].

$$f = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot (0,55 - 0,00024 \cdot t), \quad (24)$$

где t – температура полосы;

k_1 – коэффициент, учитывающий материал и состояние поверхности валков, равен 0,9;

k_2 – коэффициент, учитывающий скорость прокатки, равен 1,0;

k_3 – коэффициент, учитывающий химический состав обрабатываемого материала, равен 1,4;

k_4 – коэффициент, учитывающий формы заготовки калибра, равен 1,0.

$$f = 0,9 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot (0,55 - 0,00024 \cdot 1197,13) = 0,33$$

$$\alpha_0 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h}{D}\right) \quad (25)$$

$$\alpha_0 = \arccos\left(1 - \frac{20}{1100}\right) = 0,19 \cdot \frac{180}{\pi} = 10,89^\circ$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,19$$

Должно выполняться условие, $\operatorname{tg} \alpha \leq f$ чтобы произошел захват полосы

$0,19 \leq 0,33$ – условие выполнено, захват произойдет.

Остальные проходы рассчитываются аналогично. Результаты расчетов занесены в таблицы 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3

Таблица 3.4.1. Расчет условий захвата для уширительной клетки № 1

Параметры	Номер прохода								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$tg\alpha$	0,19	0,17	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13
f	0,33	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35
Произойдет захват полосы	да	да	да	да	да	да	да	да	да

Продолжение таблицы 3.4.1

Параметры	Номер прохода			
	10	11	12	13
$tg\alpha$	0,13	0,12	0,10	0,10
f	0,35	0,36	0,36	0,37
Произойдет захват полосы	да	да	да	да

Таблица 3.4.2. Расчет условий захвата для универсальной клетки №2

Параметры	Номер прохода		
	14	15	16
$tg\alpha$	0,11	0,11	0,09
f	0,38	0,39	0,40
Произойдет захват полосы	да	да	да

Таблица 3.4.3. Расчет условий захвата для чистовой непрерывной группы клеток 1700

Параметры	Номер прохода					
	17	18	19	20	21	22
$tg\alpha$	0,11	0,09	0,06	0,05	0,04	0,03
f	0,35	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38
Произойдет захват полосы	да	да	да	да	да	да

3.5. Расчет энергосиловых параметров

Рассчитаем среднюю степень деформации [8]:

$$\varepsilon = 1 - \frac{h_1}{h_0} \quad (26)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{140}{160} = 0,13;$$

Найдем среднюю скорость деформации:

$$U_c = 0,105 \cdot n_e \cdot \sqrt{\varepsilon \cdot \frac{R_e}{h_0}}, \quad (27)$$

где n_e – частота вращения валка;

ε – средняя степень деформации;

R_e – радиус бочки валка;

h_0 – высота полосы до входа.

$$U_c = 0,105 \cdot 28,66 \cdot \sqrt{0,11 \cdot \frac{550}{160}} = 1,97;$$

Определим конечную логарифмическую степень деформации:

$$\varepsilon_l = \ln \frac{h_0}{h_1} \quad (28)$$

$$\varepsilon_l = \ln \frac{160}{140} = 0,13$$

Среднее сопротивление деформации: [6]

$$\sigma_{sc} = N \cdot e^{-k_1 \cdot t} \cdot \varepsilon^{k_2} \cdot u^{k_3}, \quad (29)$$

где N, k_1, k_2, k_3 – постоянные коэффициенты, зависящие от материала

ε – степень деформации

u – скорость деформации

$$\sigma_s = 8900 \cdot 2,71^{-0,0032 \cdot 1197,13} \cdot 0,13^{0,35} \cdot 1,97^{0,098} = 99,66 \text{ МПа}$$

Длина очага деформации:

$$l = \sqrt{(h_0 - h_1) \cdot R_e} \quad (30)$$

$$l = \sqrt{(160 - 140) \cdot 550} = 104,88 \text{ мм}$$

Средняя высота в очаге деформации:

$$h_c = \frac{h_0 + h_1}{2} \quad (31)$$

$$h_c = \frac{160 + 140}{2} = 150,00 \text{ мм}$$

Определим фактор формы:

$$m = \frac{l}{h_c} \quad (32)$$

$$m = \frac{104,88}{150,00} = 0,70$$

Определим коэффициент напряженного состояния:

$$n_\sigma = 0,5 \cdot \left(m + \left(\frac{1}{m} \right) \right) \quad (33)$$

$$n_\sigma = 0,5 \cdot \left(0,70 + \left(\frac{1}{0,70} \right) \right) = 1,06$$

Среднее удельное давление:

$$p_c = n_\sigma \cdot \sigma_{sc} \quad (34)$$

$$p_c = 1,06 \cdot 99,66 = 106,11 \text{ МПа}$$

Горизонтальная проекция площади контакта полосы с валками:

$$F_r = \frac{b_0 + b_1}{2} \cdot \sqrt{(h_0 + h_1) \cdot R_g} \quad (35)$$

$$F_r = \frac{1900 + 1905,24}{2} \cdot \sqrt{(160 + 140) \cdot 550} = 772848,72 \text{ мм}^2$$

Определим усилие прокатки:

$$P = \frac{p_c \cdot F_r}{1000} \quad (36)$$

$$P = \frac{106,11 \cdot 772848,72}{1000} = 82005,49 \text{ кН}$$

Момент на валах:

$$M_g = 2P\psi l, \quad (37)$$

где ψ – коэффициент плеча

$$M_g = 2 \cdot 82005,49 \cdot 0,5 \cdot 104,88 = 8578,71 \text{ кН/м}$$

Момент трения в подшипниках валков:

$$M_{mp} = \frac{P\mu R_{on}}{1000}, \quad (39)$$

где P – усилие прокатки;

μ – коэффициент трения в подшипниках валков равный 0,015;

R_{on} – радиус опорного валка равный 700 мм.

$$M_{mp} = \frac{82005,49 \cdot 0,015 \cdot 700}{1000} = 861,06 \text{ кН/м}$$

Крутящий момент на валу электродвигателя:

$$M_{\partial\partial} = \frac{M_g + M_{mp}}{i_p \cdot \eta} + M_{xx}, \quad (40)$$

где i_p – передаточное число редуктора ($i_p = 4,82$);

η – КПД ($\eta = 0,95$);

M_{xx} – момент холостого хода необходим для привода главной линии прокатного стана во время паузы ($M_{xx} = 0,1$).

$$M_{\partial\partial} = \frac{8578,71 + 861,06}{4,82 \cdot 0,95} + 0,1 = 2061,55 \text{ кН/м}$$

Мощность на валу электродвигателя:

$$N_{\partial\partial} = M_{\partial\partial} \cdot n_{\partial\partial}, \quad (41)$$

где $n_{\partial\partial}$ – обороты вала двигателя

$$N_{\partial\partial} = 2061,55 \cdot 3,00 = 6184,65 \text{ кВт}$$

Остальные проходы рассчитываются аналогично. Результаты расчетов занесены в таблицы 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3.

Таблица 3.5.1. Расчет энергосиловых параметров для уширительной клетки

Параметр	Номер прохода							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\varepsilon, \%$	0,13	0,11	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12
U_c	1,97	1,95	1,79	1,94	2,13	2,35	2,49	2,79
ε_l	0,13	0,11	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11	0,13
$\sigma_{sc}, МПа$	99,66	95,55	86,92	92,04	98,01	105,09	108,79	117,85
$l, мм$	104,88	90,83	74,16	74,16	74,16	74,16	70,36	70,36
h_c	150,00	132,50	120,00	110,00	100,00	90,00	80,50	71,50
m	0,70	0,69	0,62	0,67	0,74	0,82	0,87	0,98
n_σ	1,06	1,07	1,12	1,08	1,05	1,02	1,01	1,00
$p_c, МПа$	106,11	102,44	97,18	99,29	102,42	107,06	109,78	117,86
$F_r, м^2$	0,77	0,73	0,69	0,67	0,38	0,36	0,34	0,32
$P, кН$	82005	74587	67446	66062	38584	38363	37301	37848
$M_e, кН / м$	8578,71	6760,23	4994,78	4890,97	2855,52	2837,74	2617,11	2653,4
$M_{mp}, кН / м$	861,06	783,17	708,18	693,66	405,13	402,82	391,67	397,41
$M_{об}, кН / м$	2061,55	1647,40	1245,48	1219,63	712,10	707,71	657,10	666,28
$N_{об}, кВ$	6184,65	4942,21	3736,43	3658,89	2136,31	2123,14	1971,29	1998,83

Продолжение таблицы 3.5.1

Параметр	Номер прохода				
	9	10	11	12	13
$\varepsilon, \%$	0,13	0,16	0,16	0,15	0,17
U_c	3,16	3,65	4,07	4,22	4,94
ε_l	0,14	0,17	0,18	0,16	0,19
$\sigma_{sc}, МПа$	128,82	142,48	152,74	154,94	176,69
$l, мм$	70,36	70,36	66,33	57,45	57,45
h_c	62,50	53,50	45,00	38,00	32,00
m	1,13	1,32	1,47	1,51	1,80
n_σ	1,01	1,04	1,08	1,09	1,18
$p_c, МПа$	129,73	147,86	164,39	168,36	207,81
$F_r, м^2$	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21
$P, кН$	39068,89	41344,35	42316,89	39959,32	45402,44
$M_e, кН / м$	2735,83	2890,03	2785,27	2279,11	2581,58
$M_{mp}, кН / м$	410,22	434,12	444,33	419,57	476,73
$M_{об}, кН / м$	687,08	725,97	705,32	589,37	667,91
$N_{об}, кВ$	2061,23	2177,90	2115,96	1768,12	2003,73

Таблица 3.5.2. Расчет энергосиловых параметров для универсальной клетки

Параметр	Номер прохода		
	14	15	16
$\varepsilon, \%$	0,14	0,16	0,14
U_C	6,47	7,51	7,74
ε_l	0,15	0,17	0,15
$\sigma_{sc}, МПа$	188,47	221,02	236,83
$l, мм$	37,42	37,42	32,40
h_c	27,00	23,00	19,50
m	1,39	1,63	1,66
n_σ	1,05	1,12	1,13
$p_c, МПа$	198,60	247,71	268,03
$F_r, м^2$	0,16	0,14	0,13
$P, кН$	31875,96	36765,52	36696,70
$M_\varepsilon, кН / м$	1185,03	1363,21	1179,16
$M_{mp}, кН / м$	219,94	253,68	253,21
$M_{\partial\sigma}, кН / м$	306,84	318,70	282,33
$N_{\partial\sigma}, кВ$	1534,22	1593,48	1411,63

Таблица 3.5.3. Расчет энергосиловых параметров для чистой непрерывной группы клеток 1700

Параметр	Номер прохода					
	17	18	19	20	21	22
$\varepsilon, \%$	0,31	0,26	0,17	0,17	0,14	0,07
U_C	22,06	33,31	38,09	50,07	58,57	49,19
ε_l	0,36	0,31	0,19	0,19	0,15	0,08
$\sigma_{sc}, МПа$	203,35	214,53	201,03	218,92	222,22	185,02
$l, мм$	49,75	38,54	26,83	24,19	20,12	13,42
h_c	15,25	10,85	8,40	6,95	5,85	5,20
m	3,26	3,55	3,19	3,48	3,44	2,58
n_σ	1,57	1,64	1,55	1,62	1,61	1,40
$p_c, МПа$	318,35	351,39	311,32	354,65	357,78	258,10
$F_r, м^2$	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08
$P, кН$	43853,93	41005,45	32046,25	33256,17	30816,62	20973,07
$M_\varepsilon, кН / м$	2109,13	1531,29	844,57	788,84	610,29	279,66
$M_{mp}, кН / м$	361,79	338,29	264,38	274,36	254,24	173,03
$M_{\partial\sigma}, кН / м$	487,02	368,50	218,59	209,58	170,41	89,24
$N_{\partial\sigma}, кВ$	3874,11	3969,06	2845,59	3286,59	3114,75	1760,96

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы являлась разработка технологических режимов листовой горячей прокатки с целью получения заданных свойств готового проката.

В выпускной квалификационной работе были рассмотрены современные тенденции развития листопрокатного производства, описан технологический процесс и оборудование прокатки на стане 2300/1700 ПАО «ЧМК». Произведены расчёты: режимов обжатия, и формоизменения для марки стали ХН78Т (ЭИ435), скоростных режимов для каждой группы клеток, температурных режимов процесса и энергосиловых параметров. Проанализировали выполненные расчёты, и сделали выводы о разработанной технологии режимов листовой горячей прокатки. Итогом анализа расчётов стало, что мы вошли в требуемые температурные параметры.

Таким образом, все задачи выпускной квалификационной работы можно считать выполненными, а цель – достигнутой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прокатные станы. Справочник в 3-х томах. Т.3. Листопрокатные станы и профилегибочные агрегаты/В.Г. Антипин, Д.К. Нестеров, В.Г. Кизиев, и др. 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Металлургия, 1992. 428 с.
2. Сортамент толстолистовой продукции и развитие толстолистового производства в России -https://ozlib.com/854817/tehnika/sortament_tolstolistovoy_produktsii_razvitie_tolstolistovogo_proizvodstva_rossii
3. Полухин, П.И. Прокатка на многовалковых станах/ П. И. Полухин [и др.]– М: Металлургия, 1981.– 248 с.
4. Акулич, Н.В. Процессы производства черных и цветных металлов и их сплавов/ Н.В. Акулич. - Гомель 2008. – 270 с.
5. Толстолистовой стан 2300/1700 челябинского металлургического комбината -
https://vuzlit.ru/372661/tolstolistovoy_stan_23001700_chelyabinskogo_metallurgicheskogo_kombinata
6. Коновалов, Ю.В. Расчёт параметров листовой прокатки. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И.; Справочник. М.; Металлургия, 1986. 430 с.
7. Зобин, А.Д. Технологические основы проектирования прокатных комплексов. Расчёт параметров листовой прокатки. Зобин А.Д., Чичинев Н.А., Зарапин А.Ю.: Учеб. Пособие. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2009. – 124 с.
8. Дубинский, Ф. С. Энергосиловые параметры процессов прокатки в станах сортового передела: учебное пособие; Ф. С. Дубинский и др. – Челябинск: изд. ЮУрГУ, 2001. – 30 с.