

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

_____ Л.В. Радионова

« ____ » _____ 2019 г.

Тема работы: «Разработка технологического процесса прокатки толстого листа в условиях стана 2300 ПАО “ЧМК”».

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

ЮУрГУ-22.27.06.2019.082 ПЗ

Руководитель работы:

_____ /Е.А. Шкуратов/

Автор работы:

_____ / А.В. Агапова/

студент группы П-438

АННОТАЦИЯ

Разработка технологического процесса прокатки толстого листа в условиях стана 2300 ПАО «ЧМК». ЮУрГУ- г. Челябинск, П-438. 58 страниц, библиографический список – 11 наименований, 7 рис., 8 таблицы.

Выпускная квалификационная работа выполнена с целью разработки технологического процесса прокатки горячекатаного листа в условиях прокатного цеха №4 ПАО «ЧМК».

В данной выпускной квалификационной работе изучены современные тенденции развития технологии листопрокатного производства, описан технологический процесс и оборудование прокатки на стане 2300/1700 ПАО «ЧМК». Осуществлен расчет режимов деформации для прокатки листа 21×1500 мм из марки стали 09Г2С в условиях стана 2300/1700 ПАО «ЧМК». Осуществлен расчет технико-экономических показателей работы стана для исследуемого сортамента. Определены основные мероприятия по повышению качества выпускаемой продукции. Разработаны технические предложения, способствующие снижению брака выпускаемой продукции.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОЛСТОГО ЛИСТА.....	6
1.1 Современные тенденции развития производства толстого листа	6
1.2 Выбор технологической схемы производства толстого листа от жидкого металла до готовой продукции	11
1.3 Сортамент толстолистового проката и типы станов, используемых для его производства	13
2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ТОЛСТОГО ЛИСТА В УСЛОВИЯХ СТАНА 2300.....	16
2.1 Описание технологического процесса и оборудования для прокатки на стане 2300 ПАО «ЧМК».....	16
2.2 Расчет режимов деформации для прокатки листа 20×1500 мм	32
2.3 Проверочный расчет на прочность рабочих валков стана	46
2.4 Профилировка рабочих валков	48
2.5 Техничко-экономические показатели работы стана для расчетного сортамента	51
3. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ	53
3.1 Нарушение технологического режима, методы борьбы с нарушениями	53
3.2 Возможные виды брака и методы их устранения. Технические предложения	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	57
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	58

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мире эксплуатируется около 155 широкополосных станов горячей прокатки (ШСГП). Поддержание конкурентоспособности продукции таких станов диктует необходимость их постоянного усовершенствования с целью повышения качества выпускаемой продукции (по точности размеров, механическим свойствам и состоянию поверхности), расширения размерного и марочного сортамента, снижения производственных затрат и, в редких случаях, повышения производительности.

В последние годы в технологии прокатного производства наблюдается переход на более новый качественный виток развития. Это обусловлено многими факторами: от создания, внедрения и развития прогрессивных технологий, в том числе и в сталеплавильном производстве, до изменения самой концепции в отношении к прокатному производству. Современные прокатные станы представляют собой полностью механизированные и автоматизированные линии, и поэтому по сравнению с другими видами металлургических агрегатов при изготовлении являются более трудоёмки и в то же время металлоёмки.

На фоне этого необходимо разработать и запустить новую современную линию прокатного производства. Чтобы отвечала всем требованиям нынешнего времени. Основным направлением в развитии прокатного производства является расширение марочного и профильного пакета, а также увеличение качества выпускаемой продукции.

При выборе прокатного стана исходят из следующих критериев: производительность стана, точность размеров и формы проката, качество поверхности и механических свойств, прокатной продукции, автоматизации процесса прокатки и системы управления работой прокатного стана, облегчение условий труда техники безопасности и технико-экономических показателей работы стана.

Все большее распространение получают высокопроизводительные станы непрерывной прокатки. Здесь клетки стоят последовательно одна за

другой. Миновав одну клеть, заготовка попадает во вторую, в третью, в четвертую и т. д. После каждого обжата заготовка вытягивается, и каждая последующая клеть должна за тот же промежуток времени пропустить через себя заготовку все большей длины. Некоторые непрерывные станы прокатывают металл со скоростью 80 метров в секунду (290 километров в час), а в год они обрабатывают несколько миллионов тонн.

Сейчас время быстроразвивающихся технологий, внедрение инноваций просто необходимо предприятиям различных отраслей промышленности, в том числе и металлургии. Создание автоматизированных систем, внедрений новых технологий позволит крупным предприятиям свободно конкурировать на мировом рынке промышленной индустрии.

В связи с этим, была сформулирована цель дипломной работы, которая заключается в разработке технологического процесса прокатки толстого листа в условиях стана 2300 прокатного цеха №4 ПАО «ЧМК».

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать современные тенденции развития производства толстого листа;
2. Описать и проанализировать технологический процесс и оборудование прокатки на стане 2300/1700 ПАО «ЧМК»;
3. Произвести расчет энергосиловых параметров процесса прокатки и технико-экономических показателей работы стана 2300/1700 ПАО «ЧМК».
4. Осуществить расчет технико-экономических показателей работы стана для исследуемого сортамента.
5. Определить основные мероприятия по повышению качества выпускаемой продукции.
6. Разработать технические предложения, способствующие снижению брака выпускаемой продукции.

1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОЛСТОГО ЛИСТА

1.1 Современные тенденции развития производства толстого листа

Повышение эффективности производства и улучшение качества толстых листов требуют решения ряда задач, важнейшими из которых являются следующие: получение единицы продукции с минимальными затратами, увеличение количества толстого листа из низколегированных, легированных, высокопрочных и специальных сталей, получение листа из углеродистых и низколегированных сталей с повышенными механическими свойствами и хорошей свариваемостью, получение листа с минимальными отклонениями по толщине, увеличение доли непрерывно литых слябов в общем объеме заготовок, применение на новых станах контролируемой прокатки.

Россия имеет большую внутреннюю потребность в толстом листе для судостроения, для прокладки крупных нефте- и газопроводов, а также для быстро развивающихся химического и атомного машиностроения. В 1985 г. по производству толстого листа СССР находился на втором месте в мире (16 млн. т) после Японии (18 млн. т), однако после развала Советского Союза большое количество толстолистовых станов осталось на Украине и перед Россией встал вопрос о наращивании мощностей по производству толстого листа. Технический прогресс в различных отраслях народного хозяйства и прежде всего в трубопроводном транспорте требует увеличения производства сварных труб большого диаметра, (до 1550 мм и выше), которые работают при больших давлениях и часто при низких температурах. Толстолистовая сталь должна обладать высоким пределом прочности, хорошей свариваемостью, высоким сопротивлением хрупкому разрушению при низких температурах.

Основным вектором развития современного листопрокатного производства является использование новых технологий. При этом

наибольшее распространение получают микрометаллургические заводы производительностью 3-30 тыс. т/год, которые способны разрешить проблему рационального обеспечения металлопродукцией удаленных регионов, что важно для России. Для таких заводов создаются технологии и оборудование для получения проката преимущественно мелких сечений с деформациями, необходимыми для проработки структуры и достижения заданных свойств.

Таблица 1 – Новые и модернизированные листопрокатные станы, введенные в эксплуатацию в мире за 1995-2018 гг.

Европа	Азия	Америка	Африка	Всего
0/1	2/0	Н.св.	Н.св.	2/1
Н.св.	2/0	2/0	Н.св.	4/0
1/0	4/0	2/1	1/0	8/1
1/0	5/0	5/3	2/1	13/4
1/0	4/1	2/1	Н.св.	7/2
2/2	7/2	3/0	1/0	13/4
0/4	7/2	0/2	0/1	7/9
Н.св.	Н.св.	3/1	Н.св.	3/1
5/7	31/5	17/8	4/2	57/22

В числителе - новых, в знаменателе - модернизированных

Большая часть введенных в эксплуатацию станов находится на территории Китая (27%), США (16%) и Юго-Восточной Азии (15%). Наибольшая часть реконструированных станов находится в Европе (38%), Латинской Америке (16%) и США (13%). Примерно 40% всех вводимых в эксплуатацию станов включены в состав мини-заводов.

Средства, затрачиваемые на строительство нового стана, колеблются от 60 до 200 млн. долларов США и в среднем составляют 80-120 млн. долларов США в зависимости от типа стана, оборудования, фирмы - производителя оборудования, страны. В случае, когда закупается уже бывшее в эксплуатации оборудование, затраты составляют от 20 млн. долл. США без учета строймонтажа. Реконструкция стана стоит примерно 5-60 млн. долл. США. В качестве примера рассмотрим следующие виды толстолистовых станов:

Толстолистовой стан 4300 в Китае

Толстолистовой стан 4300 объемом производства 1,65 млн. предназначен для выпуска листа и плит из низколегированных высокопрочных, коррозионностойких, котельных и трубных сталей, сталей для мостостроения, морских сооружений, сосудов, работающих под давлением, для машиностроения. На стане предусмотрена термомеханическая обработка проката как в потоке, так и в отдельно стоящем термоотделении.

На стане прокатываются как слябы толщиной до 300 мм, так и слитки толщиной до 1000 мм с получением качественных листов и плит толщиной от 6 до 300 мм, шириной после обрезки кромок от 900 до 4100 мм. Слитки в качестве исходного материала используются для производства 300 тыс. наиболее толстых листов из низколегированных высокопрочных и котельных сталей. Для нагрева слябов на стане предусмотрены три нагревательные печи, а для нагрева слитков – группа нагревательных колодцев.

Стан состоит из 2 клеток кварто (черновой и чистовой). Перед черновой клетью установлен вертикальный эджер. На входе и выходе из обеих клеток размещены высоконапорные установки гидросбива окалины. Каждая клеть приводится двумя двигателями переменного тока мощностью по 7000 кВт (обжимная) и по 9000 кВт (чистовая). В линии стана установлены правильные машины предварительной, горячей и холодной правки, системы закалки в воде и ускоренного охлаждения, холодильники, передаточные устройства, ножницы, адьюстажное оборудование.

Толстолистовой стан 5000 Выксунского металлургического завода

В настоящее время по проекту ГП «Укрспроммет» внедрен в производство комплекс толстолистостанового стана 5000. Толстолистовой стан 5000 предназначен для производства листов толщиной от 7 до 50 мм и плит толщиной от 50 до 150 мм, шириной от 1400 до 4800 мм, длиной до 25 м.

Исходной заготовкой для стана являются слябы следующих размеров:

- толщина – 250÷400 мм;

- ширина – 1300÷2600 мм;
- длина – 2500÷4800 мм.

Максимальная масса сляба до 40 тонн. Проектная мощность стана – 1200 тыс. листов и плит указанного сортамента. Сортамент продукции, в основном, сориентирован на выпуск листового проката для изготовления электросварных труб большого диаметра (от 508 до 1420 мм).

Кроме того, на стане предусмотрено производство горячекатаного листа из углеродистых и низколегированных марок сталей для различных потребителей топливно-энергетического комплекса, судостроения, мостостроения, транспортного машиностроения, промышленного и гражданского строительства.

В состав цеха входят следующие отделения и участки:

- участок подготовки исходной заготовки;
- участок нагревательных печей с шагающими балками;
- собственно толстолистовой прокатный стан для производства толстолистового проката и плит;
- участок готовой продукции.

Стан имеет в своем составе 4-х валковую реверсивную клеть, участок охлаждения раскатов, холодильник, правильные машины для горячей и холодной правки, участок замедленного охлаждения листа, ножницы для обрезки переднего и заднего концов раската, обрезки кромок, порезки на мерные длины, установки для контроля размеров и качества листа, пакетиروшки, рольганги и др. Нагрев металла осуществляется в двух нагревательных печах с шагающими балками, максимальной производительностью 250 каждая на холодном всаде.

На стане производится 100 % ультразвуковой контроль для обнаружения внутренних дефектов раскатов. Для транспортировки слябов, листов и плит в цехе используются специальные краны с магнитными траверсами.

Толстолистовой стан 5000 Магнитогорского меткомбината

Толстолистовой стан 5000 Магнитогорского меткомбината введен в эксплуатацию в 2008 году. Толстолистовой стан 5000 предназначен для получения проката из углеродистых и высокопрочных сталей для производства труб большого диаметра для нужд нефтяной и газовой промышленности, судостроения, мостостроения, котлостроения, гражданского и промышленного строительства.

Годовой объем производства – 1,5 млн. тонн по годовому.

Исходной заготовкой для производства толстого листа и плит используются непрерывнолитые слябы габаритами:

- толщина – 190, 250 и 300 мм;
- ширина – 1400÷2700 мм;
- длина – 2500÷4800 мм;
- масса – до 30 тонн.

Сортамент выпускаемой продукции:

- листы толщиной 8÷50 мм;
- плиты толщиной 51÷160 мм;
- шириной 1500÷4800 мм;
- длиной 6000÷24000 мм.

Механические свойства продукции после прокатки:

- предел текучести, σ_T – 1000 МПа;
- предел прочности, σ_B – 1200 МПа.

В состав цеха входят следующие отделения и участки:

- склад слябов;
- участок нагревательных печей с шагающими балками;
- собственно толстолистовой прокатный стан для производства толстолистового проката;
- термическое отделение;
- участок готовой продукции.

Стан имеет в своем составе 4-х валковую реверсивную клетку, участок охлаждения раскатов, холодильник с шагающими балками, правильные машины для горячей и холодной правки, ножницы для обрезки концов раската, обрезки кромок, порезки на мерные длины, участок термообработки, установки контроля размеров и качества листов, взвешивающее устройство для толстого листа, маркировочные машины, участок зачистки листов и др.

Непрерывнолитые слябы нагреваются в двух печах с шагающими балками, часовая производительность каждой 250 тонн. Транспортирование слябов, плит и листов в цехе осуществляется специальными кранами с механизированными захватами.

1.2 Выбор технологической схемы производства толстого листа от жидкого металла до готовой продукции

Основой современной металлургии стали является двухступенчатая схема, которая состоит из доменной выплавки чугуна и различных способов его передела в сталь. При доменной плавке, осуществляемой в доменных печах, происходит избирательное восстановление железа из руды, но одновременно из руды восстанавливаются также фосфор и в небольших количествах марганец и кремний; железо науглероживается и частично насыщается серой. В результате из руды получают чугун – сплав железа с углеродом, кремнием, марганцем, серой и фосфором. Передел чугуна в сталь производят в конвертерах, мартеновских и электрических печах.

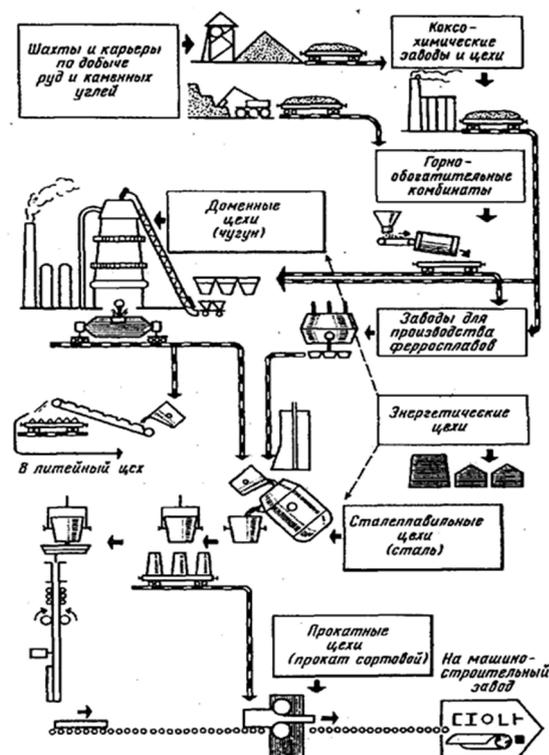


Рисунок 1 - Схема получения готовой продукции

В этих агрегатах происходит избирательное окисление примесей чугуна таким образом, что в процессе плавки они переходят в шлак и газы. В результате получают сталь заданного химического состава, из которой в дальнейшем получают готовую продукцию литьем и последующей прокаткой (рисунок 3). Слябы с отношением сторон $B/h > 3$ (B – ширина сляба; h – толщина сляба) производят на обжимных станах (слябингах) и машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

Основные технологические схемы производства толстолистого проката:

I схема включает две передела: сначала слитки массой от пяти до семи тонн и более подвергаются прокатке на обжимных станах (блюминги, слябинги) и заготовочных станах, а затем полученный полупродукт (блюмы, слябы, заготовки) поступают на станы окончательной прокати.

II схема наиболее характерна для заводов цветной металлургии, где часто отливаются слитки массой менее двух тонн, а в некоторых случаях – всего лишь несколько десятков килограммов (например, слитки тяжелых металлов для сортовой прокатки). Такие слитки после зачистки поверхности

поступают непосредственно на станы, выпускающая готовую продукцию. Более крупные слитки сначала прокатывают на заготовочном стане. Вторая схема производства проката встречается также на предприятиях черной металлургии, но в основном на старых заводах с небольшим объемом производства.

III схема основана на применении машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Она обладает большими преимуществами по сравнению со схемами I и II и постепенно их вытесняет.

IV схема предполагает использование литейно-прокатных агрегатов, однако пока она реализована в промышленных масштабах только на заводах цветной металлургии, главным образом при производстве проката из алюминия, а также меди и некоторых других относительно легкоплавких металлов. В черной металлургии созданы лишь отдельные опытные образцы литейно-прокатных агрегатов; работы в этом направлении продолжаются.

Приведенные основные схемы производства проката охватывают только горячую прокатку. На сегодняшний день III схема производства является наиболее прогрессивной, так как большинство предприятий идут по пути увеличения выпускаемой продукции. При этом выход годного при разливке на машинах непрерывного литья заготовок выше, чем при разливке металла в изложницы.

1.3 Сортамент толстолистового проката и типы станов, используемых для его производства

Современные ШСГП, работающие в странах СНГ и за рубежом, являются многоклетевые станы с длиной бочки рабочих валков 1700-2500 мм, производительностью 3,5-6,0 млн.т/год. На этих ШСГП прокатывают полосы толщиной от 1,2 до 16-25 мм и шириной до 2350 мм, смотанные в рулоны, с проектной скоростью прокатки до 25-30 м/с массой до 40-45 т из слябов размерами: толщиной до 300 мм, шириной до 2300 мм и длиной до 15

000 мм (на некоторых станах предусмотрена прокатка полос с минимальной толщиной, равной 0,8-1,0мм).

В 70-х годах прошлого века ставилась задача прокатки полос толщиной 0,8-1,0 мм на ШСГП, и в сортаменте станов 1780 фирмы «СумитомоКиндзокуКогё» в Касиме (Япония) и 2285 фирмы «Солмер» (Франция) в Фос-сюр-мер была предусмотрена и производилась прокатка полос такой толщины. Практика показала, что прокатка полос толщиной менее 1,5 мм резко снижает производительность ШСГП, создает сложность в транспортировке переднего конца полос к моталкам, а главное – качество таких полос практически по всем показателям хуже, чем холоднокатаных. Технический прогресс в технологии, оборудовании, а главное – в автоматизации ШСГП вновь в конце 80-х годов прошлого века спровоцировал повторную постановку задачи прокатки полос толщиной 0,8-1,0 мм, которая успешно решается на ЛПМ (таблица 2). Марочный сортамент ШСГП – рядовые и качественные углеродистые, низколегированные, легированные, нержавеющие и электротехнические марки стали. Широкополосные станы по расположению рабочих клеток подразделяются на непрерывные, полунепрерывные, комбинированные.

Таблица 2 – Сортамент горячекатаных полос, получаемых на некоторых современных ЛПМ

Наименование технологии и ЛПМ, реализующего данную технологию	Фирма-разработчик данной технологии и поставщик оборудования	Толщина горячекатаных полос, смотанных в рулоны, мм
TSP	«Tippins» (США), «Samsung» (Южная Корея)	1,2-12,0
DSP	«SMS Demag» (Германия)	0,7-2,5
fTSP	«Danieli» (Италия)	0,8-20,0
QSP	«SumitomoMetalIndustries» (Япония)) 1,0-1,4

CSP	реализован на фирме «Hysa» (Мексика)	0,8-12,7
CPR	реализован на заводах фирм «Thyssen» и «Usinor-Sacilor»	1,0-15,0

2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ТОЛСТОГО ЛИСТА В УСЛОВИЯХ СТАНА 2300

2.1 Описание технологического процесса и оборудования для прокатки на стане 2300 ПАО «ЧМК»

Описание технологического процесса и оборудования стана начинается с составления схемы расположения оборудования стана с перечнем всех основных механизмов по ходу технологического потока.

Прокатный цех №4, представляющий собой комплекс стана 2300/1700, построенный в 1963 г. и размещенный в четырех пролетах (рисунок 2), состоящий из реверсивной клетки 2300 и непрерывной группы 1700, предназначен для прокатки листов толщиной 6-20 мм, шириной 600-2000 мм на клетки 2300 и толщиной 2-6 мм, шириной до 1550 мм на непрерывной группе 1700 из углеродистых низколегированных, легированных и коррозионностойких сталей, а также двухслойных листов и подката коррозионностойких аустенитных и ферритных сталей для холодной прокатки.

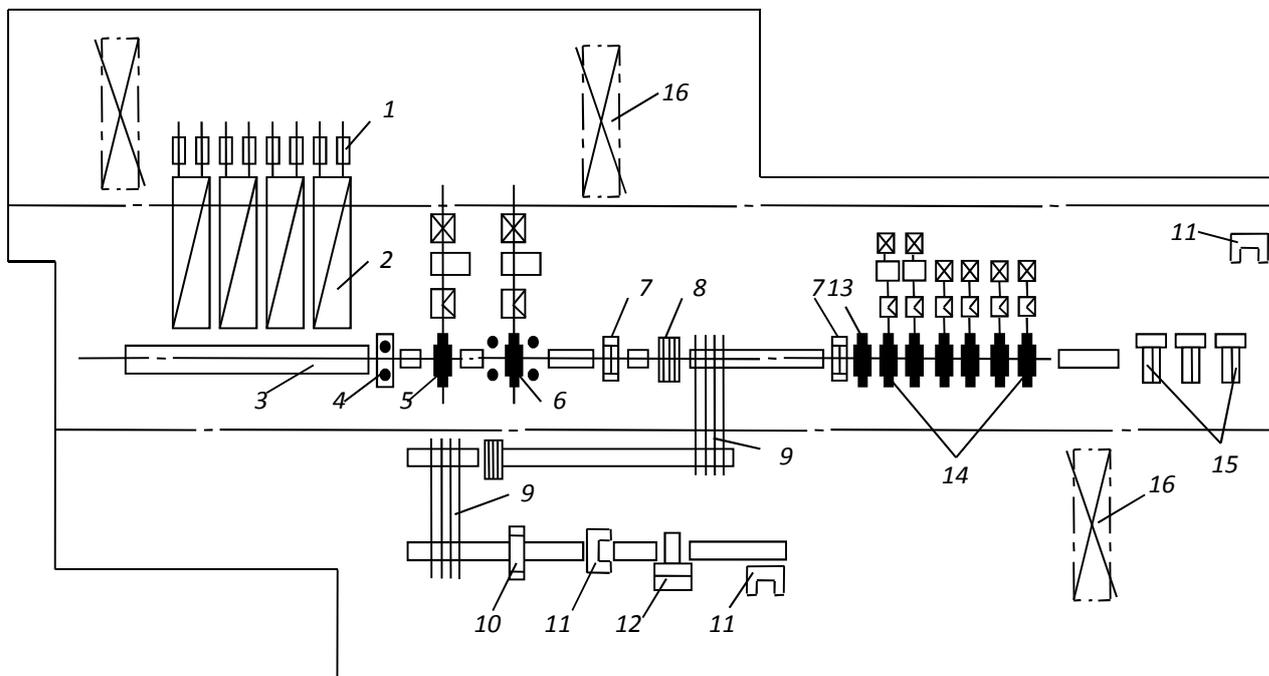


Рисунок 2 – Схема основного технологического оборудования стана
2300/1700 Челябинского металлургического комбината:

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

Исходной заготовкой служат слябы размером $(90-190) \times (600-1090)$ мм. Размеры слябов коррозионностойких сталей $(115-180) \times (600-1050)$ мм, а заготовок для прокатки двухслойной стали – $(160-240) \times (640-1170)$ мм. Длина заготовок 1600-2000 мм для стана 2300, 2000-4000 для стана 1700.

Слябы поступают в цех на железнодорожных вагонах и складировются по маркам стали и размерам. Площадь склада не зачищенных слябов 2300 м^2 , зачищенных - 3000 м^2 . Слябы углеродистых и низколегированных сталей зачищают газокислородными резаками на стеллажах зачистки. Легированные и коррозионностойкие стали зачищают на механизированных наждачных станках типа XIII 7-10 и А-1459. Максимальная скорость шлифования 50-60 м/с. Склад обслуживают мостовые краны грузоподъемностью 8, 15/3 и 50/10 тонн.

Подготовленные слябы кранами подают на подъемно-опускающиеся столы нагревательных печей. Грузоподъемность стола 980 кН, рабочий ход 1,0 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 подогрев транспортной стали ведут в четырех четырехзонных методических печах (ширина в свету 5,0 м, длина пода 2,45 м) с нижним подогревом, торцевой загрузкой и выдачей. Температура

нагрева металла 1200 °С. Максимальный темп выдачи 90 шт/ч. Печи отапливаются коксодоменной смесью с теплотой сгорания 330-480 кДж/м³.

Через нагревательную печь слябы продвигаются со скоростью 0,2 м/с двоянным толкателем с усилием толкания 870 кН на две штанги при рабочем ходе 2,0 м, максимальном 3,5 м. В каждой зоне - по пять (всего 20) инжекционных горелок. Давление газа у горелок 200 кПа. Воздух подогревается в керамических рекуператорах до 450-500 °С. Газ подогревается в трубчатых рекуператорах до 200-250 °С. Посад в печи холодный. Нагрев слябов для прокатки на стане 2300 производить по режимам таблицы 3.

При одновременном нагреве слябов различных марок стали и сплавов температурный режим печей вести по режиму для стали с более низкой температурой, а продолжительность нагрева – по режиму с большей продолжительностью.

При нагреве слябов сталей и сплавов групп 4, 6, 7, 9 табл. 2 температура в нижней зоне печи должна быть на 70...100 °С ниже, чем в первой сварочной зоне. Снижение температуры в печах №№ 1...4 начинать за 30 минут до поступления слябов с меньшей температурой нагрева в соответствующую зону печи. Подъем температуры в печах №№ 1...4 начинать после выхода слябов с меньшей температурой нагрева из соответствующей зоны печи.

Таблица 3 – Нагрев слябов в методических печах №№ 1...4 для последующей прокатки на стане 2300

№ группы	№ подгруппы	Марка стали и сплавов	Толщина сляба, мм	Продолжительность нагрева, (+1)час, час-мин.	Температура по зонам печи, °С				Примечание
					томил бная (±30)	1-я сварочная ±30	2-я сварочная (-100)	Нижняя -200	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

1	1.1	Ст0,Ст2кп,Ст3кп,0 8кп,10кп,15кп, 20кп,Ст2сп,Ст3сп, Ст4сп, Ст5сп,08,10,15,20,2 5,30,35, 40,45,50,55,Ст2пс, Ст3пс, 08пс,09Г2,09Г2С,1 0Г2,15Г, 20Г,30Г,20Х,15ХС НД	120 130 140 150	2-00	1290	1330	1330	1330	
		160 170	2-30						
180 190 200		3-00							
	1.2	Ст0,Ст3кп,Ст2пс,С т3пс, Ст3сп,10пс,10,15,2 0,09Г2С, Ст5сп	150 160 170	2-30	1290	1330	1330	1330	Непре рывно литой метал л
2		60,У7(А),38ХА,40 Х,20Г1,40Г,50Г, 65Г,60Г,65Г1,35Г2, 40Г2,45Г2, 50Г2,20ХГСА,25Х ГСА,30ХГСА, 35ХГСА,40ХН,45Х Н2МФА, 30ХГСН2А,08Х13, 12Х13,20Х13, 30Х13,12ХН3А,10 Х3МТЮА, 12Х2НВФА(ЭИ712	120 130 140 150	3-00	1230	1250	1240	1200	
			160 170 180 190	4-00					
3		10Х17Н13М2Т,10Х 17Н13М3Т, 17Х18Н9,12Х18Н9, 12Х18Н9Т, 08Х18Н10,08Х18Н 10Т, 12Х18Н10Т,02Х18 Н11,03Х18Н11,108 80,10895, 03Х11Н10М2Т-ВД (ЭП678У-ВД), 03Х11Н10М2Т-ИД (ЭП678У-ИД), 03Х11Н10М2Т1- ВД (ЭП679-ВД), 03Х11Н10М2Т1- ИД(ЭП679-ИД), 03Х12Н10МТР- ВД(ЭП810-ВД), 03Х12Н10МТР- ИД(ЭП810-ИД), 03Х12Н10МТРУ- ВД(ЭП810У-ВД), 03Х11Н8М2Ф-ВД (ДИ52-ВД), 03Х11Н8М2Ф-ИД (ДИ52-ИД),	120 130 140	3-00	1220	1250	1260	1200	
			150 160 170	4-00					

		03X18H10T- ВИ(ИД)							
4	4.1	12X18H9,17X18H9, 12X18H9T, 08X18H10,08X18H 10T, 12X18H10T	120 130 140	3-00	1200	1210	1220	1180	С отно- шение м хрома к никел ю более 1,8
			150 160 170	4-00					
	4.2	12X18H9,08X18H1 0,08X18H10T, 12X18H10T,10X17 H13M2T(МЗТ)	170	4-20	1200	1210	1220	1180	
5		03X13АГ19(ЧС- 36), 07X13H4АГ20(ЧС- 52), 08X22H6T(ЭП53), 07X13АГ20(ЧС- 46), 10X14Г14H4T,04X 19АФТ, 08X21H6M2T(ЭП- 54)	120 130 140	3-00	1190	1190	1200	1160	
			150 160	4-00					
6	6.1	06X17Г19H3АБ(А С-43Н), 06X17Г15HАБ(А43 У),ЧС5У-ИД, 03X20H16АГ6,03X 19АГ3H10, 06ХН28МДТ(ЭИ94 3),55Х7ВСМФ, 03X17H14M3- ВИ(ВО), 02X17H14M3- ВИ(ВО), 46ХНМ(ЭП630)- ВИ(ИД), 38ХНМ- ВИ(ИД),ХН70Ю- ИД, ЧС125-ВИ	120 130 140	3-50	1190	1190	1200	1160	
			150 160	4-20					
	6.2	12X18H9	170	4-20	1190	1190	1200	1160	Непре рывно литой и катан ый метал л с отнош

									ением хрома к никел ю более 2,0
	6.3	20X23H18 (лист 10...20 мм)	120 130 140	3-50	1190	1190	1200	1160	
			150 160	4-20					
7		20X23H18 (лист 6...9 мм)	120 130 140	3-00	1220	1220	1230	1170	
			150 160	4-00					
8		У8(А), У9(А), У10(А), У11(А), У12(А), У13(А),60С2(А)	120 130 140 150	2-00	1220	1220	1230	1170	
			160 170 180 190	3-00					
9		03Х21Н21М4ГБ(З И-35)	120 130 140	3-50	1150	1160	1190	1200	
			150 160	4-20					
10		08Х17Т	120 130 140	2-50	1110	1130	1160	1150	
			150 160	3-20					

Для высокотемпературного нагрева трансформаторной стали имеются четыре двухзонные толкательные печи с машиной безударной выдачи. Режим работы периодический. Размеры печи: ширина в свету - 4980 мм, длина пода - 14400 мм. Температура нагрева металла до 1400 °С, температура посадка 1200 °С. Максимальный темп выдачи 48 шт/ч. Печи отапливаются природным газом теплотворной способностью 200 кДж (пять горелок в первой зоне и семь - во второй). Тип горелок - труба в трубе.

Транспортируют слябы между транспортными рольгангами методических и высокотемпературных печей при помощи граблевого

подъема. Время подъема или опускания траверзы 2,0 с, движения тележки 2,3 м/с, высота подъема штанг траверзы 300 мм. Механизм подъема траверзы приводится от 55-кВт электродвигателя постоянного тока Д-810, механизм перемещения тележки - от 37-кВт двигателя постоянного тока Д-808. Задают и проталкивают слябы через печь сдвоенным толкателем с усилием толкания двух штанг 1,28 МН, приводимых от двух 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. Максимальный рабочий ход тележки 3400 мм, рабочее усилие на штанге механизма передвижения при перемещении тележки 14,8 кН, максимальное усилие на штанге механизма передвижения 29 кН, скорость перемещения 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, предназначенных для дальнейшей прокатки на чистовой непрерывной линии, перед ней в потоке стана установлена шестизонная роликовая проходная печь.

Скорость пода, м/с: при загрузке и выдаче металла из печи 1,5-3,7, при покачивании 0,4 м/с, транспортная - 3,7-5,8 м/с. Размеры подогреваемого листа (10-24) x (600-1500) x (5000-35000) мм; масса 0,8-3,45 т.

В печи 92 ролика диаметром 165 мм, шаг роликов 580 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 °С. При посадке в печь подкаты имеют температуру 900 °С и подогреваются до 1100 °С, а из нержавеющей сталей до 1160 °С. Пролет печей обслуживается 10-т мостовым краном.

Стан полосовой полунепрерывный имеет две 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 снабжен 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 м/с. Станина окалиноломателя литая, стальная. Максимальное усилие металла на валки 3 МН. Скорость 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 °С, начала прокатки $\geq 1050-1020$ °С, конца прокатки 800-950 °С в зависимости от толщины прокатываемых листов и стали. Станины универсальной клетки закрытого типа из стали 3Л-111. 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. 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; подшипники качения конические; привод от 200/300-кВт электродвигателя постоянного тока МПВ 42,3/78 (500/1000 об/мин), передаточное число привода вертикальной клетки - $i_p = 5,67$. 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 чугун; подшипники четырехрядные, роликовые конические. Диаметр бочки опорных валков 1300-1400 мм, длина 2300 мм, материал сталь 90ХФ или 60ХН, подшипники четырехрядные роликовые конические. Профилировка валков приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Профилировка валков

Прокатываемые стали	В клетях линии 2300:			В клетях непрерывной группы 1700:					
	Черновом окалино- ломателе	Ушири- тельной	Универ- сальной	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й
Рабочие валки									
Углеродистые низколегированные	Цилиндрические	Вогнутые		-0,10 - 0,15	-0,10 - 0,15	-0,10 - 0,15	0,00 - 0,05	0,00 - 0,05	0,00 - 0,05
Нержавеющие	-	-	0,25	+0,10	+0,10	+0,10	+0,05	+0,05	+0,05
			0,1	+0,15	+0,15	+0,15	+0,07	+0,07	+0,07
Опорные валки									
Разные	-	-	+0,05	-	-	+0,20	+0,30	-	-

Максимальный рабочий раствор валков 200 мм, минимальный - 100 мм. Скорости установки валков 1,5-10-15 мм/с. Диаметр нажимного винта 520 мм, шаг упорной резьбы 24 мм, уравнивание верхнего валка гидравлическое (давление в цилиндре 9,8 МПа). Станина клетки закрытого типа из стали 3Л-111. Привод клетки от 4560-кВт электродвигателя постоянного тока ПБК 250/145-2 (70/120 об/мин), скорость прокатки 1-5,1 м/с. Шпиндельное устройство универсальное, материал шпинделей сталь 34ХНЗМ, диаметр тела шпинделей 36 см; длина по осям шарниров 3,8 м, максимальный угол наклона 3°. Уравнивание шпинделей: нижнего - пружинное, верхнего - гидравлическое.

Перевалка клетки осуществляется с помощью перевалочных тележек. Рабочие валки, а 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.

В первом потоке листы, прокатанные на универсальной клетки 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 °С. 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 выправляемых листов 4-35 мм, температура ≥ 700 °С, 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 её 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 цилиндре (0,4-0,5 МПа), диаметр цилиндра 250 мм, ход щита упора 90 мм.

Выправленные листы передаются для охлаждения в зависимости от стали на воздухе - на шлепперах (малоуглеродистые, легированные и нержавеющие стали) и в защищенных от сквозняков штабелях ≥ 24 ч (высокоуглеродистые и инструментальные стали).

Во втором потоке листы из нержавеющей стали поступают в роликовую печь, где нагреваются до 1100-1160 °С. 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.

Летучие ножницы барабанного типа приводятся 630-кВт электродвигателем (750 об/мин), наибольшее разрезаемое сечение (10-24) x 1550 мм, длина ≥ 6800 мм. Скорость движения полосы 0,6-2,0 м/с. Температура разрезаемого металла 900-1000 °С. Усилие реза 1480 кН. Точность реза ± 25 мм.

Расстояние между клетями 6 м. 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 клеток № 3 и № 4 приводятся от главных двигателей через редуктор, остальные - непосредственно от

двигателей через шестеренные клетки. Скорость прокатки в последней чистовой клетки ≤ 11 м/с.

Шестеренные клетки двухвалковые. У рабочих клетей № 3-№ 5 шестеренные клетки 800, а у рабочих клетей № 6-№ 8 шестеренные клетки 700. Зубьев шестеренных валков 22, угол зацепления 20° .

Редукторы главных приводов клетей № 3 и № 4 цилиндрические, одноступенчатые: $A_3 = A_4 = 220$ мм, $i_3 = 4,82$, число зубьев шестерни редуктора 34, колеса редуктора 164; четвертой клетки $z_{ш3} = 34$, $z_{к3} = 164$, $i_4 = 3,0$; $Z_{ш4} = 50$, $z_{к4} = 150$ соответственно; наибольший передаваемый рабочий момент $1,45$ МН·м.

Для регулирования поперечной разнотолщинности и профиля горячекатаных полос на клетях № 7 и № 8 установлены системы противоизгиба рабочих валков. Давление масла в системе $10,0-12,0$ МПа, максимальное расширяющее усилие $1,1$ МН. В каждой подушке по четыре плунжера диаметром 180 мм, рабочий ход плунжера 20 мм.

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 формирующими роликами, пневматическим сталкивателем, кантователем и укладчиком рулонов на приемный конвейер.

Толщина наматываемой полосы 2-10 мм, ширина 600-1550 мм, скорость наматывания 4,5-11 м/с. Максимальная температура полосы 600 °С. 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 67-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).

Сталкиватель рулонов работает от пневматической системы: диаметр цилиндра 300 мм, ход 2520 мм, время сталкивания одного рулона 5 с.

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 конвейера 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.

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 резания 1,37 МН. Гильотинные ножницы с нижним резом предназначены для резки холодных полос толщиной 4-20 мм. Ширина разрезаемого листа 0,6-2,0 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 3500 мм, рабочих 2300 мм,

скорость подъема верхних валков 0,5 м/с, привод от 160-кВт электродвигателя (735 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 брака. 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 мм, 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 и 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. Размеры закаливаемых листов: (4-20) x (1000-2000) 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 (40-10) x 2000 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 160-кВт электродвигателя (735 об/мин). Скорость правки 0,75 м/с. На другом агрегате правят листы толщиной 8-20 мм, шириной 2 м. 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 щелочно-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 °С. Затем корзины краном переносят в ванну с холодной проточной водой. После промывки следует травление в

кислотной ванне с концентрацией раствора 18 % H_2SO_4 и 5 % $NaCl$. Температура раствора 60-80 °С, время выдержки в ванне 5-10 мин. Далее промывка в горячей воде при 60 °С и отбелка в азотнокислой ванне с концентрацией 6-8 % HNO_3 в течение 3-10 мин. Температура раствора 40-50 °С. За отделкой следует промывка листов в горячей воде с температурой 60 °С. Углеродистые листы травят 30 мин в растворе 15 % H_2SO_4 и 3 % $NaCl$ при 60-80 °С. Затем следует промывка в горячей воде при 50-60 °С.

Промытые и нержавеющие, 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 °С. Агрегат приводится 13-кВт двигателем (920 об/мин). После промывки листы сушатся, затем листоукладчиком их сбрасывают по одному в карман, где набирается стопа. Листы в стопах 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.

2.2 Расчет режимов деформации для прокатки листа 20×1500 мм

В ряде случаев при расчете обжатий на станах всех типов, прокатывающих слитки или слябы, в качестве отправного критерия приходится принимать прочность валков. Это особенно относится к станам, прокатывающим толстолистовую сталь и снабженным электродвигателями,

как правило с достаточно высокой мощностью, что определяет большие возможности для осуществления высоких обжатий.

Основные расчётные формулы, которые использовались для расчёта основных характеристик стана, подставлены ниже.

Основные расчётные формулы:

$$G_{Л.Г} = h_{Л} b_{Л} l_{Л} \gamma \cdot 10^3, \quad (1)$$

где $G_{Л.Г}$ – масса годного листа, кг;
 $h_{Л} b_{Л} l_{Л}$ – толщина, ширина и длина годного листа, м;
 γ – плотность стали;

$$G_{Н.Л} = h_{Л} (b_{Л} + 140)(l_{Л} + 800) \gamma \cdot 10^{-9}, \quad (2)$$

где $G_{Н.Л}$ – масса раската с учётом припусков на обрезь, кг;
 $h_{Л} b_{Л} l_{Л}$ – толщина, ширина и длина годного листа, м;
 γ – плотность стали;

$$l_0 = \frac{G_{Н.Л}}{H_0 \cdot B_0 \cdot \rho} \quad (3)$$

где l_0 – длина исходной заготовки, м;
 H_0, B_0 – толщина и ширина сляба, м;
 ρ – плотность стали;

$$H_i = H_0 - \Delta H_i, \quad (4)$$

где H_i – толщина раската после i -го прохода, мм;
 ΔH – величина абсолютного обжатия, задаётся с учётом прочности валков, мм;

$$E_i = \frac{\Delta H_i}{H_0} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где E_i – относительная деформация, мм;

$$R_{np} = \frac{2R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \quad (6)$$

где R_{np} – приведенный радиус, мм;

$$H_{CPi} = \frac{H_0 + H_i}{2}, \quad (7)$$

где H_{CPi} – средняя толщина полосы в очаге деформации, мм;

$$l_{Di} = \sqrt{R_{np} \cdot \Delta H_i}, \quad (8)$$

где l_{Di} – длина очага деформации, мм;

$$f = k_1 k_2 k_3 (1,05 - 0,0005 \cdot t), \quad (9)$$

где f – коэффициент трения, определяется по ф. Б.П. Бахтинова, М.М. Штернова;

$k_1 k_2 k_3$ – коэффициенты, учитывающие состояние поверхности и материал валков, скорость прокатки, химический состав прокатываемого металла.

$$\Delta B_i = \left(1 + \frac{\Delta H_i}{H_{i-1}}\right) \cdot \left(f \cdot (R_{np} \cdot \Delta H_i)^{0,5} - \frac{\Delta H_i}{2}\right) \cdot \frac{\Delta H_i}{H_{i-1}}, \quad (10)$$

где ΔB_i – абсолютное уширение, определяется по ф. С.И. Губкина, мм;

$$B_i = B_0 + \Delta B_i, \quad (11)$$

где B_i – ширина раската после i -го прохода, мм;

$$\lambda_i = \frac{H_0 \cdot B_0}{H_i \cdot B_i}, \quad (12)$$

где λ_i – коэффициент удлинения;

$$L_i = L_0 \cdot \lambda_i, \quad (13)$$

где L_i – длина раската после i -го прохода, мм;

$$v_{B_i} = \frac{3,14 \cdot n_B \cdot R_{np}}{30}, \quad (14)$$

где v_{B_i} – окружная скорость валков;

$$\tau_i = \frac{v_{B_i}}{L_0}, \quad (15)$$

где τ_i – время прокатки одной заготовки в i -ом проходе;

$$v_i = \frac{v_{B_1} \cdot \Delta H_i}{l_{Д_i} \cdot H_i}, \quad (16)$$

где v_i – скорость деформации, 1/с;

$$\Delta t_i = T_{i-1} - 1000 : \sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{T_0}{100}\right)^3 + 0,055 \cdot \frac{\tau_i}{H_0}}}, \quad (17)$$

где Δt_i – изменение температуры раската, определяемое по уравнению Г.П. Иванцова, в i -ом проходе, °C ;

$$t_{pi} = t_{i-1} - \Delta t_i, \quad (18)$$

где t_{pi} – температура раската после i -го прохода, °C ;

$$p = 1,15 \cdot \sigma_u \cdot n_\sigma; \quad (19)$$

где P – среднее удельное давление, кгс/мм²;

σ_u – предел текучести металла при растяжении, кгс/мм²;

При помощи метода термохимических коэффициентов находится величина сопротивления деформации сталей и сплавов в зависимости от их химического состава. Это и объясняет выбор данной методики.

$$\sigma_u = S \sigma_{од} \cdot u^a \cdot (10\varepsilon)^b \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^c, \quad (20)$$

где σ_u – истинное сопротивление деформации;

$S, \sigma_{од}, a, b, c$ – постоянные числа, определяемые для каждой марки стали по результатам испытаний на пластометре;

$$n_\sigma = m^{-0,4}, \quad (21)$$

где n_σ – коэффициент напряженного состояния при $m=l_i/H_{cp,i}$;

$$P_i = p \cdot l_{д_1} \cdot B_i; \quad (22)$$

где P_i – полное давление металла на валки в i -ом проходе;

$$\alpha_i = \arccos\left(1 - \frac{\Delta H}{D}\right); \quad (23)$$

где α_i – угол захвата в i -ом проходе;

$$\beta_1 = \arctg(1,05 - 0,0005 \cdot t_i), \quad (24)$$

где β_i – угол трения в i -ом проходе;

$$\alpha_1 < \beta_1, \quad (25)$$

где $\alpha_1 < \beta_1$ необходимое условие для проката;

$$M_i = 2 \cdot P_i \cdot \Psi \cdot l_i, \quad (26)$$

где M_i – момент на валках в i -ом проходе,

Ψ – коэффициент, величина которого зависит от характера распределения контактных напряжений по контактной поверхности.

Максимальный крутящий момент на валу электродвигателя:

$$M_{дв} = M_{пр} + M_{тр} + M_{хх} + M_{дин}, \quad (27)$$

где $M_{тр}$ – момент трения;

$M_{дин}$ – динамический момент;

$M_{хх}$ – момент холостого хода;

$M_{пр}$ – момент прокатки.

Момент трения в подшипниках валков:

$$M_{мп1} = P \cdot \mu \cdot d_{ш} \quad (28)$$

где μ – коэффициент трения в подшипниках валков, принимаемый для подшипников с коническими роликами равным 0,004, жидкостного трения -0,003, скольжения с бронзовыми вкладышами – 0,07..0,1 то же с текстолитовыми вкладышами – 0,01..0,02;

$d_{ш}$ – диаметр шейки валков.

При расчётах примем $\mu = 0,01$;

В общем случае, момент трения определяется из выражения:

$$M_{тр} = (0,33 \div 0,18)M_{np} + (1,33 \div 1,18)M_{np1} \quad (29)$$

Момент холостого хода необходимый для привода главной линии прокатного стана во время паузы принимаем равным:

$$M_{xx} = (0,05 \div 0,1) \cdot M_n, \quad (30)$$

$$M_n = 9,55 \frac{N_n}{n_n}, \quad (31)$$

Динамический момент определим исходя из формулы:

$$M_{дин} = \sum J' \cdot \varepsilon, \quad (32)$$

$$J = \sum G_i \cdot r_i^2, \quad (33)$$

$$\varepsilon = \frac{\pi \cdot b}{30}, \quad (34)$$

$$J' = \frac{J}{i \cdot \eta}, \quad (35)$$

где J' – момент инерции вращающихся частей стана, кг·м²;

ε – угловое ускорение, рад/с²;

G_i – масса, вращающейся детали, кг;

b – число оборотов, об/мин;

r – радиус, вращающейся детали, м;

i – передаточная число;

η – КПД двигателя.

Мощность прокатки в i -ом проходе определяется по формуле:

$$N_{npi} = \frac{M_{npi} \cdot n_{де}}{0,975}, \quad (36)$$

Мощность привода в i -м проходе:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot K_1}{K_2 \cdot K_3} \quad (37)$$

где K_1 – коэффициент учитывающий снижение магнитного потока, так как $n < n_{\text{ном}}$,

$$K_1 = 1;$$

K_2 – коэффициент временной перегрузки. Для реверсивных двигателей $K_2=2$;

K_3 – коэффициент, учитывающий потери мощности в механических частях.

$$K_3 = 0,85;$$

$N_{\text{пр}}$ – мощность прокатки, кВт.

Показательный расчёт на примере 8 прохода:

В ходе работы нам необходимо получить лист 1,5х6, 2 крата. Геометрические параметры листа будут равны: $H=20$ мм, $B=1500$ мм, $L=12000$ мм.

Массу годного листа находим по формуле (1):

$$G_{\text{л.г}} = 0,02 \cdot 1,5 \cdot 12 \cdot 7,78 = 2,8 \text{ т};$$

Массу раската с учётом припусков на обрезь определяем по формуле (2):

$$G_{\text{н.л}} = 20 \cdot (1500 + 140) \cdot (12000 + 800) \cdot 7,78 \cdot 10^{-9} = 3,266 \text{ т};$$

Выбираем размер сляба. Принимаем $H_0=180$ мм, $B_0=1100$ мм. Тогда длину сляба находим по формуле (3):

$$l_0 = \frac{3,266}{0,18 \cdot 1,1 \cdot 7,78} \approx 1,54 \text{ м};$$

Определим величину раската 8 прохода по формуле (4):

$$H_8 = 116 - 15 = 101 \text{ мм},$$

Значение относительной деформации находим по формуле (5):

$$E_8 = \frac{15}{116} \cdot 100\% = 12,9\%;$$

Т.к. стан имеет разные радиусы валков, находим приведенный радиус по формуле (6):

$$R_{np} = \frac{2 \cdot 325 \cdot 455}{325 + 455} = 379 \text{ мм};$$

Среднюю толщину полосы в очаге деформации определяем по формуле (7):

$$H_{cp8} = \frac{116 + 101}{2} = 108,5 \text{ мм};$$

Длину очага деформации найдём по формуле (8):

$$l_{д8} = \sqrt{379 \cdot 15} = 75 \text{ мм};$$

Для дальнейшего расчёта нам необходимо рассчитать коэффициент трения, определяемый по формуле Б.П. Бахтинова, М.М. Штернова (9):

$$f = 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot 1175,2) = 0,3;$$

Абсолютное уширение, определяется по формуле С.И. Губкина (10):

$$\Delta B_8 = \left(1 + \frac{15}{101}\right) \cdot \left(0,3 \cdot (379 \cdot 15)^{0,5} - \frac{15}{2}\right) \cdot \frac{15}{101} \approx 1 \text{ мм},$$

После разбивки ширины и кантовки на 90° дальнейшая ширина раската увеличивается не значительно, и определяется по формуле (11):

$$B_8 = B_7 + \Delta B = 2137 + 1 = 2138 \text{ мм};$$

Коэффициент удлинения найдём по формуле (12):

$$\lambda_8 = \frac{116 \cdot 2137}{101 \cdot 2138} = 1,15;$$

Длину раската после 8-го прохода определим по формуле (13):

$$L_8 = 2215 \cdot 1,15 = 2543 \text{ мм};$$

Окружная скорость валков находим по формуле (14):

$$v_{B8} = \frac{3,14 \cdot 74 \cdot 379}{30} = 2,9 \text{ м/с};$$

Время прокатки заготовки в 8-м проходе находится по формуле (15):

$$\tau_8 = \frac{2,9}{2,215} \approx 1,43 \text{ с};$$

Скорость деформации 8-го прохода определяем по формуле (16):

$$v_8 = \frac{2,9 \cdot 15}{75 \cdot 116} = 5,0 \text{ 1/с};$$

Падение температуры металла при прокатке происходит из-за потерь тепла в результате излучения, отдачи тепла конвекцией воздуху, омывающему полосу, потерь с охлаждающей водой, теплоотдачи валкам.

При прокатке выделяется тепло, пропорциональное работе, затрачиваемой на деформацию.

Изменение температуры раската, определяем по уравнению Г.П. Иванцова, в 8-ом проходе (17):

$$\Delta t_8 = (1157,2 + 273) - 1000 : \sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{1157,2 + 273}{100}\right)^3 + 0,055 \cdot \frac{16}{101}}} = 12,2^\circ\text{C};$$

Температуру раската после 8-го прохода находим по формуле (18):

$$t_{p8} = 1157,2 - 12,2 = 1145^\circ\text{C}$$

Для определения истинного сопротивления деформации воспользуемся зависимостью (20). Данные о химическом составе и значения коэффициентов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Химический состав и значение коэффициентов стали 09Г2С

Сталь 09Г2С								
%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	SG _{од}	a	b	c
0,09	1,45	1	0,2	0,2	83,295	0,115	0,075	-2,97

$$\sigma_u = 83,295 \cdot 5,0^{0,115} \cdot (10 \cdot 0,13)^{0,076} \cdot \left(\frac{1157,2}{1000}\right)^{-2,977} = 6,5 \frac{\text{кз}}{\text{мм}^2};$$

Коэффициент напряженного состояния n_σ определяется по методике М.Я Бровмана (21):

$$n_\sigma = \begin{cases} 1, \text{при } m \leq 1; \\ 0,5 \cdot \left(m + \frac{1}{m}\right), \text{при } 1 < m \leq 2; \\ (0,75 + 0,25m), \text{при } 2 < m \leq 4; \\ (1 + 0,25m), \text{при } m > 4, \end{cases}$$

Т.к. значение $m = \frac{75}{108,5} = 0,7 \leq 1$ таким образом принимаем параметр $n_\sigma = 1$

Среднее удельное давление определим по формуле (19):

$$p = 1,15 \cdot 6,5 \cdot 1 = 7,426 \frac{\text{кзс}}{\text{мм}^2};$$

Полное давление металла на валки в 8-ом проходе находим по формуле (22):

$$P_8 = 7,426 \cdot 75 \cdot 2138 = 11973 \text{ МН};$$

Угол захвата в 8-м проходе находим по формуле (2.23):

$$\alpha_8 = \arccos\left(1 - \frac{15}{758}\right) \approx 12^\circ;$$

Угол трения в 8-м проходе находим по формуле (2.24):

$$\beta_8 = \arctg(1,05 - 0,0005 \cdot 1145) \cdot 0,8 \approx 20^\circ;$$

Из условия (25) проверяем неравенство:

$$\alpha_8 < \beta_8 \text{ (верно);}$$

Момент на валках в 8-ом проходе определяем по формуле (26) при $\psi \approx 0,47$:

$$M_8 = 2 \cdot 1197,3 \cdot 0,47 \cdot 0,073 = 84,87 \text{ тм};$$

Определим момент трения в подшипниках валков по формуле (28):

$$M_{mp1} = 1179,2 \cdot 0,01 \cdot 0,64 = 7,54 \text{ тм};$$

Найдём момент трения из выражения (29):

$$M_{mp} = 0,2 \cdot 84,87 + 1,2 \cdot 7,54 = 25,2 \text{ тм};$$

Момент холостого хода необходимый для привода главной линии прокатного стана во время паузы определяем из выражения (30) и (31):

$$M_{xx} = 0,05 \cdot 9,55 \cdot \frac{4000}{74} = 25,8 \text{ тм};$$

Рассчитаем момент инерции вращающихся частей стана по формуле (35):

$$J' = \frac{2 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot (455 \cdot 10^{-3})^2 + 10 \cdot (325 \cdot 10^{-3})^2}{1,6 \cdot 0,7} = 6655,3 \cdot 10^{-6} \text{ кгм}^2;$$

Угловое ускорение определим по формуле (34):

$$\varepsilon = \frac{3,14 \cdot 370}{30} = 38,72 \text{ рад/с}^2,$$

Динамический момент определим исходя из формулы (32):

$$M_{дин} = 6655,3 \cdot 10^{-6} \cdot 38,72 = 0,25 \text{ тм},$$

Максимальный крутящий момент на валу электродвигателя определим по формуле (27):

$$M_{ог} = 80,8 + 25,5 + 25,8 + 0,25 = 133,6 \text{ тм},$$

Мощность прокатки в 8-ом проходе определяется по формуле (36):

$$N_{np8} = \frac{84,87 \cdot 74}{0,975} = 6441,4 \text{ кВт},$$

Мощность привода в 8-м проходе найдём по формуле (37):

$$N_{ог8} = \frac{6441,4 \cdot 1}{2 \cdot 0,85} = 3789,1 \text{ кВт}.$$

При прокатки стали 09Г2С мы использовали классический режим т.е. на практике это 3 основные операции, такие как:

- 1) Протяжка сляба, осуществляется для выравнивания температуры по сечению, также для снятия конусности (слитков).
- 2) Разбивка ширины, осуществляется кантованием сляба на 90^0 для получения необходимой ширины раската.
- 3) Получение необходимой толщины, осуществляется кантовка на 90^0 и далее раскат прокатывается вдоль для получения необходимой длины

Выполненный расчёт осуществлен для одного из проходов. Расчет энергосиловых параметров прокатки в последующих проходах был выполнен по представленному выше алгоритму на ЭВМ с использованием программы электронные таблицы (Excel).

Результаты расчетов приведены в таблицах 6, 7 и на рисунках 3-6.

Таблица 6 – Параметры формоизменения полосы

№ про-хода	H0, мм.	H, мм.	dH, мм.	Относ. обж., %	Шири-на, мм.	Длина, мм.	Темп-ра град.	Давл-е МН.	Момент, Нм.
Вдол-ь 1	180	157	23	12,8	951	1833	1198,5	5,8	50,6
2	157	136	21	13,4	952	2112	1191,3	5,6	47,1
3	136	116	20	14,7	955	2471	1182,3	5,7	46,7
Кант 4	116	99	17	14,7	2473	1118	1172,1	11,2	106,1
5	99	84	15	15,2	2474	1317	1160,8	13,7	97,5
6	84	72	14	14,3	2474	1536	1146,8	13,9	80,4
Кант 7	72	56	16	22,2	1540	3173	1128,8	14,2	74,0
8	56	41	15	26,8	1546	4316	1099,6	13,9	76,0
9	41	28	13	24,0	1553	6291	1058,8	12,6	92,6
10	28	20	12	28,6	1559	8772	1008,	12,4	64,0

							7		
11	20	5	8	15,0	1786	13784	862,5	10,5	149,3

Таблица 7 – Мощность прокатки

№ про- хода	Р кН	Мпр Н	Нпр кВт	Ндв кВт
Вдоль 1	5,8	50,6	1627	957
2	5,6	47,1	1515	891
3	5,7	46,7	2034	1196
Кант 4	11,2	106,1	3414	2009
5	13,7	97,5	3136	1844
6	13,9	80,4	2586	1521
Кант 7	14,2	74,0	2382	1401
8	13,9	76,0	2445	1438
9	12,6	92,6	2284	1343
10	12,4	64,0	2060	1212
11	10,5	149,3	2210	1300

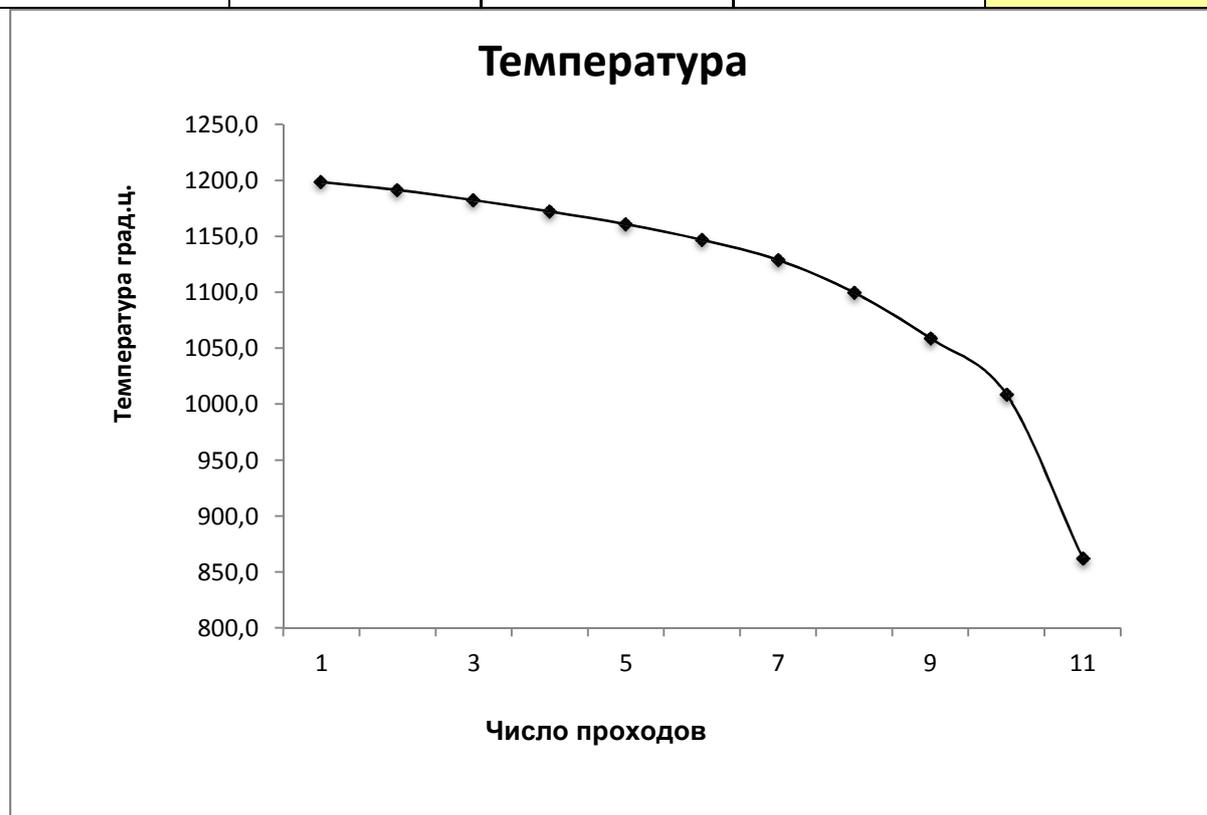


Рисунок 3 – Изменение температуры прокатки по проходам

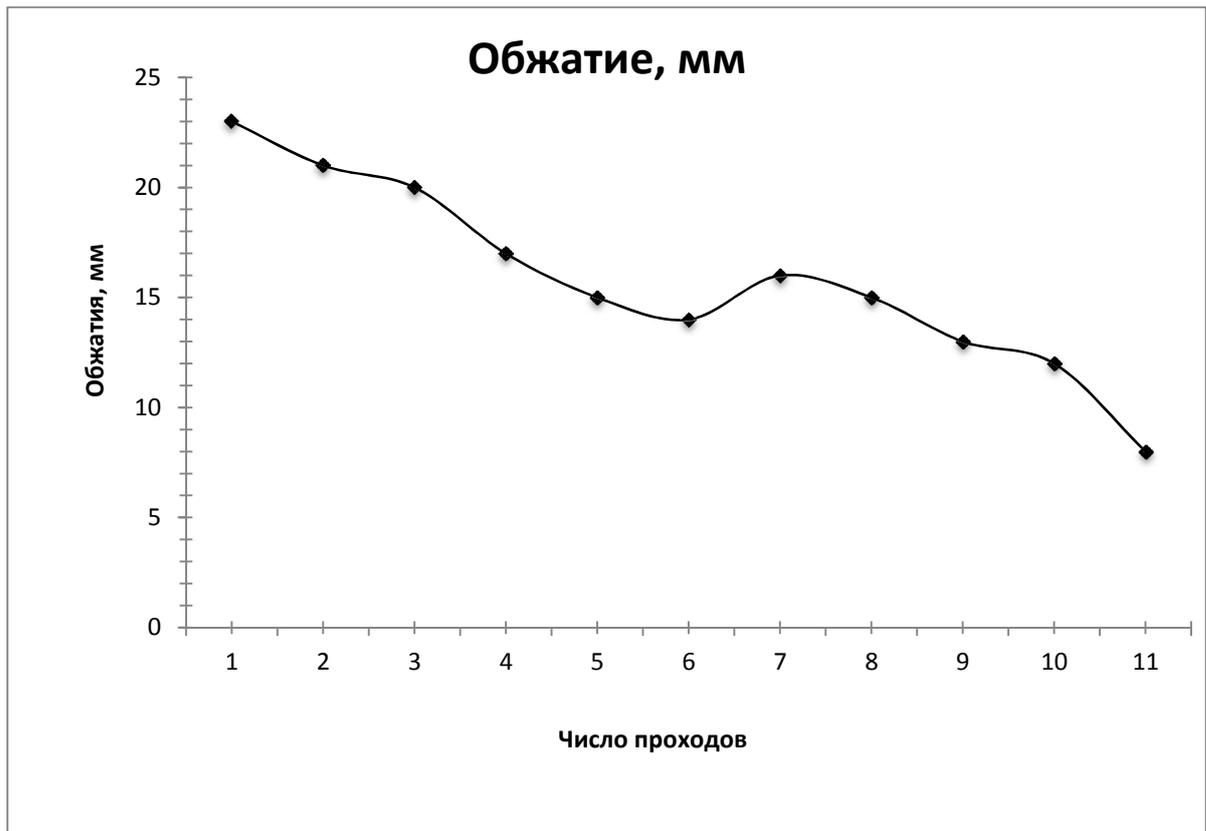


Рисунок 4 – Изменение абсолютного обжатия по проходам

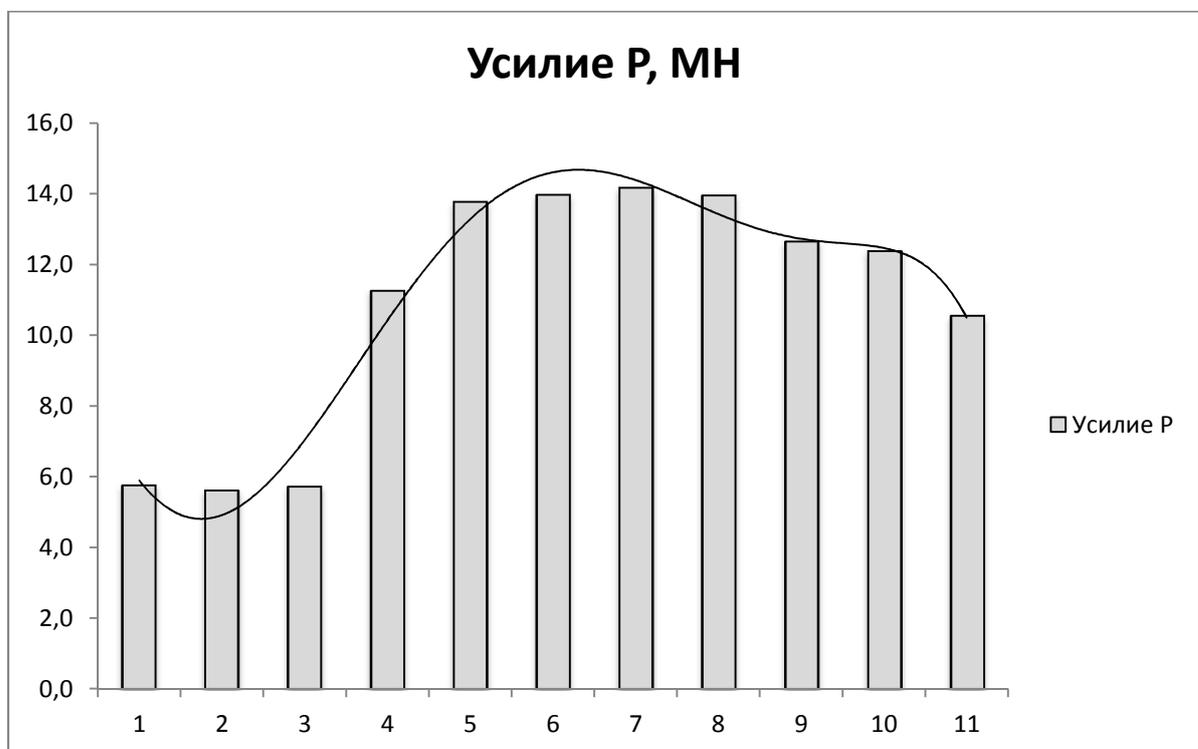


Рисунок 5 – Изменение усилия прокатки по проходам

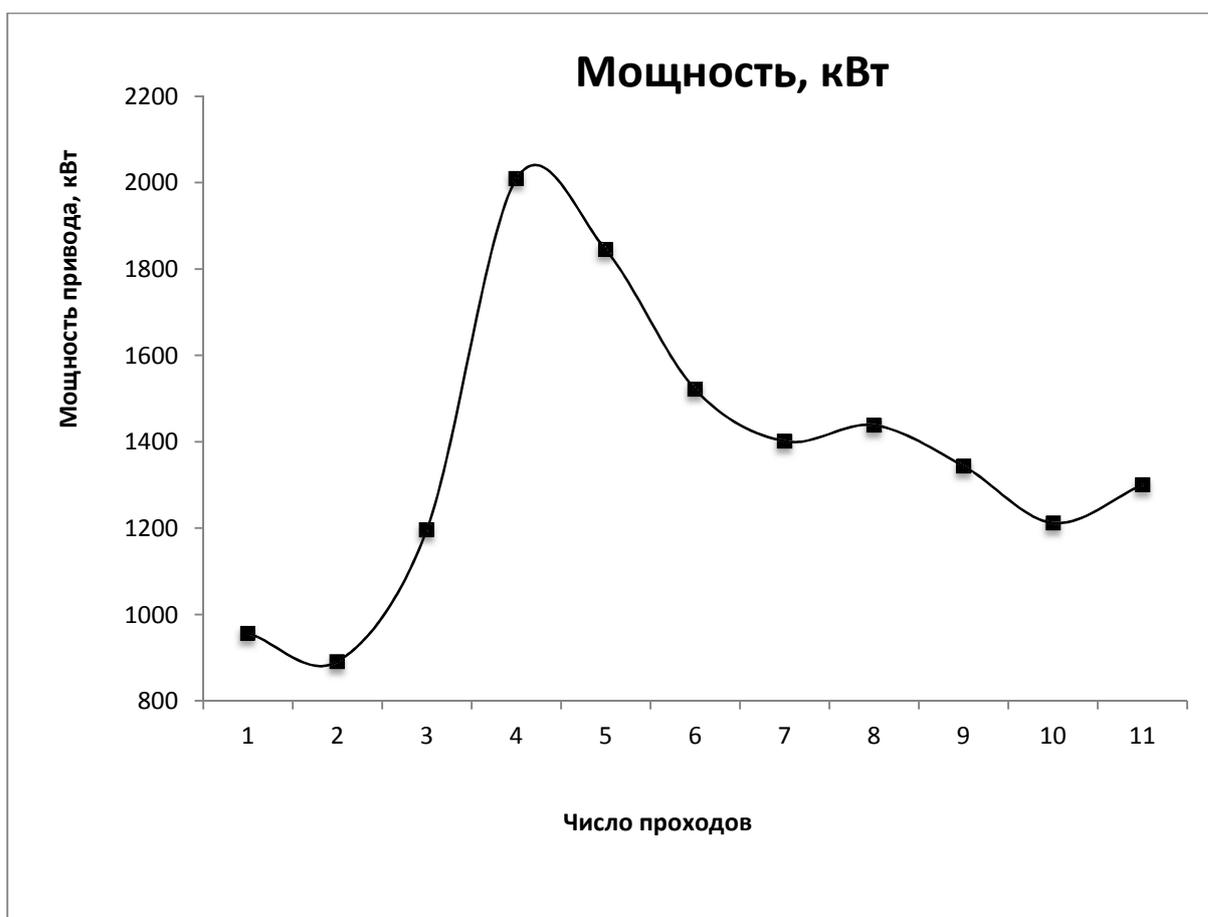


Рисунок 6 – Изменение усилия прокатки по проходам.

2.3 Проверочный расчет на прочность рабочих валков стана

Прокатные валки являются основным инструментом, непосредственно выполняющими работу по деформации металла. Бочка валка может быть гладкой, цилиндрической и комбинированной. По назначению валки делятся на обжимные, полосовые, листовые, сортовые, трубные и специальные. В зависимости от материала валки бывают чугунные и стальные.

К валкам, особенно листовым, предъявляют следующие требования:

- шейки и бочка валка должны обладать высокой прочностью;
- поверхность бочки валка должна иметь высокую твердость износостойкость, чтобы сохранять заданный профиль валка длительное время;

- поверхность бочки валка должна быть устойчивой к термической усталости, иначе - к образованию сетки разгара, от чего зависит качество поверхности проката;

- поверхностный слой бочки валка должен выдерживать большие удельные давления;

Основными размерами валка являются диаметры шейки и бочки валка, а также их длина. Длина бочки обычно больше максимального размера листа на $300 \div 400$ мм.

При проверке на прочность валок рассматривают как балку, лежащую на двух опорах, с расстоянием между ними равным расстоянию между осями нажимных винтов. (см. рисунок 5)

Бочка. Максимальное напряжение изгиба по середине бочки:

$$\sigma_{изб} = \frac{P \cdot (L + l - 0,5B)}{0,4 \cdot D^3}, \text{ МПа} \quad (31)$$

где: P - максимальное давление металла на валки, 80 МН;

L - длина бочки (2300 мм);

l – длина шейки (1240 мм);

B – ширина раската (1500 мм);

D – диаметр валка (1100 мм).

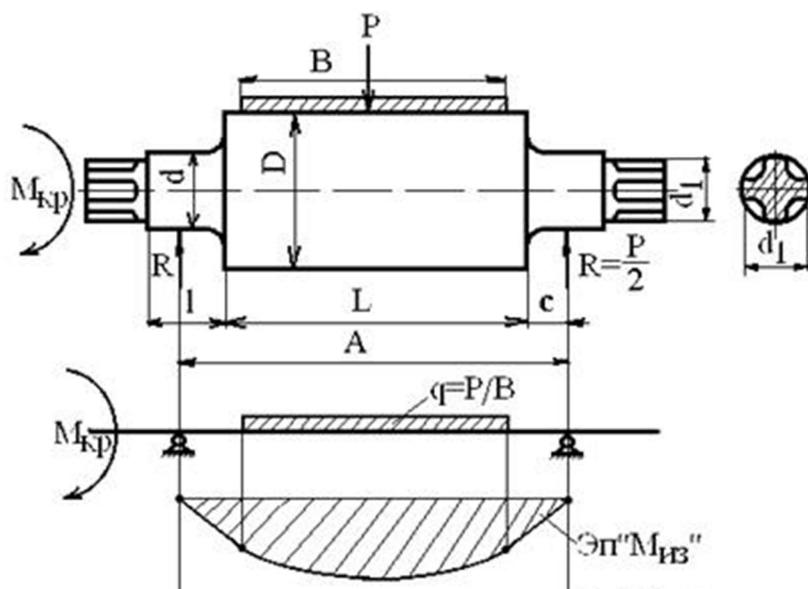


Рисунок 7 – Действие силовых параметров на валок

где: P – давление, МН;

a – расстояние между серединами шеек валка, мм;

$M_{из}$ – изгибающий момент, Н· м.

$$\sigma_{изб} = \frac{\left(\frac{80}{100}\right) \cdot (2300 + 1240 - 0,5 \cdot 1500)}{0,4 \cdot 780^3} \approx 12 \text{ МПа} < [G_{изг}] = 80 \text{ МПа}$$

Шейка. Максимальное напряжение изгиба в шейки (в листе прохода от бочки к шейке)

$$\sigma_{изб} = \frac{P \cdot l}{0,4 \cdot d_{ш}^3} \text{ МПа} \quad (32)$$

где: $d_{ш}$ – диаметр шейки (570 мм).

$$\sigma_{из.ш} = \frac{\left(\frac{80}{100}\right) \cdot 1240}{0,4 \cdot 570^3} \approx 13 \text{ МПа} < [G_{изг}] = 80 \text{ МПа}$$

Таким образом, проверочный расчет на прочность рабочих валков подтвердил возможность прокатки при заданных режимах.

2.4 Профилировка рабочих валков

Для расчета профилировки валков определяем величину прогиба валков при прокатке. Величина прогиба зависит от давления металла на валки, размеров валка и его материала. При расчете прогиба валок рассматривается как балка, лежащая на двух опорах и нагруженная равномерно распределенной нагрузкой на ширине листа. Прогиб валка можно компенсировать только выпуклой профилировкой.

$$y_{max} = \frac{n \cdot P \cdot (L + l)^3}{18,8 \cdot E \cdot D^4}, \quad (38)$$

где: y_{max} - максимальный прогиб валка, мм;

P - полное давление металла на валки, МН.;

D - диаметр валка, мм;

L - длина бочки валка, мм;

l - длина шейки валка, мм.

E - модуль упругости (Юнга) материала валка, $E = 2 \cdot 10^7$ МПа;

n - коэффициент зависящий от ширины листа (раската) b , от отношения

$$n = \frac{b}{L} + 1, \quad (39)$$

$$n = \frac{1500}{2300} + 1 = 1,7$$

$$y_{max} = \frac{1,7 \cdot \left(\frac{58,29 \cdot 10^6}{100} \right)^{3,25} \cdot (2300 + 1240)^3}{18,8 \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot 770^4} \approx 0,009 \text{ мм} .$$

Вычисленный прогиб - это прогиб рабочего валка между опорами.

Прогиб на ширине листа.

$$Y_{л} = \frac{Y_{max} \cdot b}{L + l}, \quad (40)$$

где: $Y_{л}$ - прогиб на ширине листа, мм.

На ширине листа прогиб значительно меньше.

Разнотолщинность листа по ширине.

$$Y_{л} = \frac{0,009 \cdot 1500}{2300 + 1240} = 0,004 \text{ мм}$$

$$\Delta a = h_{cp} - h_{кp} = 2Y_{л} = \frac{2Y_{max} \cdot b}{L + l}, \quad (41)$$

где: Δa - разнотолщинность листа по ширине, мм;

$h_{\text{ср}}$ - высота полосы по середине, мм;

$h_{\text{кр}}$ - высота полосы по краям, мм.

$$\Delta a = 0,006 \text{ мм}$$

Разнотолщинность листа по ширине равна удвоенному прогибу на ширине листа.

Тепловая выпуклость, противоположна прогибу, компенсируется прогибом. Величина тепловой выпуклости валка по длине бочки зависит от его диаметра и разности температур между краями и серединой, которая зависит от ширины листа и охлаждения бочки и шеек.

$$\Delta D = \alpha \cdot D \cdot (t_{\text{ср}} - t_{\text{кр}}), \quad (42)$$

где: ΔD - увеличение диаметра за счет разности температур, мм;

коэффициент линейного расширения материала валка при нагревании, град.⁻¹ $\alpha = 0,000012$ град.⁻¹;

D - диаметр валка, мм;

$t_{\text{ср}}$ - температура середины бочки валка, 70 °С;

$t_{\text{кр}}$ - температура краев бочки валка, 30 °С.

Увеличение диаметра валка за счет разности температур.

$$\Delta D = 0,000012 \cdot 1100 \cdot (70 - 30) = 0,53 \text{ мм}$$

$$\Delta D_{\text{л}} = \frac{\Delta D \cdot b}{L}, \quad (43)$$

где: ΔD - выпуклость бочки в пределах ширины листа (мм);

$$\Delta D_{\text{л}} = \frac{0,53 \cdot 1500}{2300} = 0,35 \text{ мм.}$$

$$Y_{\text{т.макс}} = Y_{\text{макс}} - \Delta R, \quad (44)$$

где: $Y_{т.маx}$ - прогиб с учетом тепловой выпуклости (мм);

ΔR - тепловая выпуклость, выраженная через радиус валка (мм);

$$Y_{т.маx} \approx - 0,35 \text{ мм.}$$

2.5 Техничко-экономические показатели работы стана для расчетного сортамента

Производительность определим по массе годного металла, полученного после его отделки. Производительность определим для расчетного сортамента по массе поступивших на стан слитков.

Основным показателем использования прокатного стана является его производительность в фактический час работы:

$$A = \frac{3600 \cdot G}{T}, \quad (45)$$

где: G — масса заготовки, т;

T — ритм прокатки, сек.

Как видно из формулы, часовая производительность прокатного стана прямо пропорциональна массе прокатываемого металла и обратно пропорциональна ритму прокатки. Ритм прокатки определяется временем необходимым на осуществление процесса прокатки металла с учетом основных и вспомогательных операций. Чем меньше ритм прокатки, тем выше производительность.

Ритм прокатки стана равен:

$$T = \sum \tau_t + \sum \tau_n + \tau_0, \quad (46)$$

где: $\sum \tau_t$ - суммарное машинное время всех проходов, сек;

$\sum \tau_n$ - суммарное время пауз, с;

τ_0 - интервал между раскатами, сек.

Исходная заготовка 180x1100x1540 мм. Количество проходов – 11. Ритм прокатки (Т) составит 88 секунд. Ширина листа 1500 мм, толщина – 20 мм.

Определим производительность:

$$A_{2300} = \frac{3600 \cdot 3,266}{88} \approx 133,6 \frac{m}{час}$$

Фактическая часовая производительность прокатного стана будет ниже технической возможной, так как при работе прокатного стана неизбежны потери времени, связанные с нарушением технологии, нечеткостью и неорганизованностью работы стана. Эти потери времени учитываются коэффициентом использования стана (k_i), который составляет 0,85. Тогда:

$$A_{2300} = \frac{3600 \cdot 3,266}{88} \cdot 0,85 \approx 113,56 \frac{m}{час}$$

Определим годовую производительность стана для расчетного сортамента.

$$A_{год} = A \cdot \tau_{\phi}, \quad (47)$$

$$A_{год.2300} = 113,56 \cdot (0,12 \cdot 6344) \approx 86450,95 \frac{m}{год}$$

Годовая прибыль по листу толщиной 20 мм составит:

$$П_{год} = \Delta A_{год.2800} \cdot Ц, \quad (48)$$

Средняя цена листа толщиной 20 мм составит $40\,000 \frac{руб}{m}$.

$$П_{год} = 86450,95 \cdot 40000 = 3458038 \text{ тыс.руб.}$$

3. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ.

3.1 Нарушение технологического режима, методы борьбы с нарушениями.

При горячей прокатке нарушение технологического режима могут возникнуть на любом из участков прохождения заготовки, т.е. от нагрева её в методической печи, либо непосредственно при прокатке заготовки на стане, либо на участке отделки. Попробуем выявить, наиболее часто встречающееся, нарушения технологического режима:

1) Сваривание слябов при нагреве

Во избежание сваривания слябов необходимо, следить за правильной и качественной порезкой слябов. Слябы должны быть без заусенцев и сколов. Соблюдать установленный инструкцией режим нагрева слябов, чтобы избежать оплавления металла. При переходе посадки со слитков на слябы, допускается побелка слябов известью.

При сваривании слябов необходимо, снизить температуру в сварочной зоне на 10–20⁰С. Повысить температуру томильной зоны на 10–20⁰С. При помощи "квадрата" и "барса" разломить сваренные слябы. Остывшие слябы не должны подаваться на стан, а возвращаться на посадку.

2) При остановках стана необходимо:

Снизить температуру по зонам печи, чтобы не допустить перегрева и обезуглероживания металла. При остановке стана от 40 до 60 мин. температура по зонам снижается на 50 – 100⁰С; при остановке стана от 1 до 4 часов температура на печах № 1 и 2 по зонам снижается на 200 – 300⁰С. Рабочая температура печи должна быть восстановлена за 30 – 60 мин. до начала прокатки в зависимости от массы слитка и продолжительности простоя стана. В случаях простоев стана более одной смены - температуру в томильной и нижних сварочных зонах снизить до 800⁰С, а верхние сварочные и IV зоны выключать полностью.

3) При выходе из строя охлаждаемых деталей системы испарительного охлаждения (прогар, трещины, механические повреждения) необходимо:

Сообщить об этом мастеру смены. В зависимости от характера повреждения, снизить давление пара в барабане-сепараторе. В случае необходимости установку переключать на охлаждение технической водой.

4) При повреждении контрольно-измерительных, регулирующих приборов и запорной арматуры неполадки, как правило, устраняются на ходу печи после снижения давления в барабане-сепараторе или при работе установки на технической воде. Непрерывная работа установки при питании технической водой допускается не более 5 суток.

При изменении размеров прокатываемых листов, смене типа слитков и массы слябов, нагревальщик на выдаче обязан сообщить по селектору старшему оператору. Слябы и слитки, подвергнутые хотя бы одному пропуску в клетки, считаются недокатами. Недокаты, не прокатанные в текущем месяце, считаются для бригады браком. Недокаты должны быть замаркированы старшим вальцовщиком маркой стали, номером плавки, номером бригады.

3.2 Возможные виды брака и методы их устранения. Технические предложения

На сегодняшний день известно не мало дефектов стали. Как правило, они образуются, либо при разливки стали и дальнейшей её кристаллизации, либо при прокатке сляба из данной стали. Таким образом, дефекты можно различать по двум составляющим: это дефекты при разливки и дефекты при прокатке (таблица 4).

Таблица 8 – Дефекты и меры по их устранению

Вид дефектов	Меры по устранению предупреждению дефекта
Окалина (вкат)	Использовать гидросбив после печи и гидросбив в процессе прокатки

Вид дефектов	Меры по устранению предупреждению дефекта
Волнистость кромки	Соблюдение режима обжатий в последних проходах с применением проглаживающих проходов, смена выработанных валков.
Серповидность	Выравнивание валков в вертикальной плоскости. Выравнивание нагрева металла по длине и ширине.
Отклонение от плоскостности (коробоватость)	Устранение неравномерности нагрева металла и разнотолщинности листа. Увеличение обжатия в последнем проходе.
Сетка отпечатков	Своевременная смена валков.
Слиточная плена	Улучшить качество зачистки заготовки
Раскатный пузырь	Увеличение обжатия в последнем проходе
Трещина	Строго соблюдать температуру нагрева и режим деформации

Окалина является основным источником формирования определенных видов дефектов. Окалина представляет собой продукт окисления железа. Согласно исследованиям, в окалине содержится от 55 до 80% FeO и от 20 до 50% Fe₂O₃, что соответствует содержанию 66 – 69% чистого железа в окалине.

Окисление стали происходит при двух одновременно протекающих процессах: диффузии кислорода от поверхности к внутренним слоям металла и встречной диффузии металла через слой окалины на ее наружную поверхность.

В нагреваемой стали, железо растворяется в окалине и диффундирует наружу. Скорость диффузии железа обычно превышает скорость диффузии кислорода, поэтому между окалиной и металлом нет сплошного контакта, а в слое окалины, прилегающем к металлу и состоящем из FeO, образуются поры.

Одним из предлагаемых способов борьбы с окалиной является усовершенствование устройства для подачи жидкости на поверхность

проката. Основной задачей предлагаемого устройства для гидравлического удаления окалины является подача жидкости на поверхность проката путем оптимального позиционирования сопел.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе изучены современные тенденции развития технологии листопрокатного производства, описан технологический процесс и оборудование прокатки на стане 2300/1700 ПАО «ЧМК». Осуществлен расчет режимов деформации для прокатки листа 20×1500 мм из марки стали 09Г2С в условиях стана 2300/1700 ПАО «ЧМК». Осуществлен расчет технико-экономических показателей работы стана для исследуемого сортамента. Определены основные мероприятия по повышению качества выпускаемой продукции. Разработаны технические предложения, способствующие снижению брака выпускаемой продукции.

В ходе проделанной работы была изучена технология получения проката из заданного сплава. Проведен полный расчёт энергосиловых параметров, профилировки валков. Осуществлён расчёт производительности стана при выпуске данного сортамент продукции. Проанализировав полученные данные, сделали вывод о том, что при прокатке стали 09Г2С с назначенными обжатиями, энергосиловые параметры не превышают критических значений.

Как одно из направлений модернизации проката из стали 09Г2С является разработка системы гидросбива окалины, в частности усовершенствование устройства для подачи жидкости на поверхность проката. Основной задачей предлагаемого устройства для гидравлического удаления окалины является подача жидкости на поверхность проката путем оптимального позиционирования сопел.

Данный дипломный проект имеет большое значение в развитии навыков самостоятельной творческой работы, рационализации, изобретательства, пользования справочной литературой, ГОСТ-и, нормами, таблицами, а также навыками производства, расчётов и составления расчётно-пояснительных записок к проектам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. – 2000, 312 с.
2. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л. Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки. Справочник. – М.: Металлургия, 2001, 430 с.
3. Злобинский Б.М. Охрана труда в металлургии. М: Металлургия, 2000, 342 с.
4. Бурцев К.И. Прокатное производство. М.: Металлургия, 2003, 410 с.
5. Королев А.Л. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. М.: Металлургия, 2000, 506 с.
6. Ф.С. Дубинский, В.И. Крайнов. Расчет энергосиловых параметров процесса прокатки с применением ЭВМ: Учебное пособие. Челябинск: ЧГТУ, 2000, 15 с.
7. Гузенков Л.Г. Краткий справочник к расчетам деталей машин. - М.: Металлургия, 2003, 212 с.
8. Бень Г. Г., Экономическая эффективность. М.: “Металлургия”, 2004, 279 с.
9. Полухин П. И, Прокатное производство. М.: Металлургия, 2001, 426 с.
10. Куприн М.И., Куприна М.С. Основы теории прокатки. М: Металлургия, 2000, 112 с.
11. Целиков А. И., Зюзин В. И. Современное развитие прокатных станов. М.: Металлургия, 2002, 375 с.