

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.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ  
ГОРЯЧЕКАТАНОГО ТОЛСТОЛИСТОВОГО ПРОКАТА С ЦЕЛЬЮ  
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА**

*ЮУрГУ – 22.03.02 – 2020 – 309–03–063 – 00.00.00 ПЗ*

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_ *ст.пр.*

*Соседкова Марина Алексеевна*

\_\_\_\_\_ 2020 г.

Руководитель работы

\_\_\_\_\_ *ст. пр.*

*Соседкова Марина Алексеевна*

\_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы  
студент группы П-438

\_\_\_\_\_

*Бенгардт Яна Андреевна*

\_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск  
2020

## АННОТАЦИЯ

Бенгардт Я.А. Совершенствование процесса прокатки горячекатаного толстолиствого проката с целью повышения качества – Челябинск: ЮУрГУ, П – 438, 70 с., 35 ил., 15 табл., библиогр. список – 14 наим.

В выпускной квалификационной работе изучены современные тенденции развития станов горячей прокатки листов, выполнен анализ дефектов горячекатаного листового проката, описан технологический процесс и оборудование прокатки на стане 2300/1700 ПАО «ЧМК».

В расчетной части проекта рассчитаны режимы деформации для прокатки сортамента стана.

Также разработаны предложения по повышению качества готового проката.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ЛИСТОВ.....	4
2. АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ГОРЯЧЕКАТАННОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА	13
2.1 Прокатная плена.....	14
2.2 Вкатанная окалина.....	14
2.3 Отпечаток.....	15
2.4 Риска.....	16
2.5 Рванина.....	17
2.6 Подрез.....	18
2.7 Закат.....	19
2.8 Чешуйчатость.....	20
2.9 Трещины.....	21
2.10 Раковины, волосовины.....	23
2.11 Рябизна.....	24
2.12 Морщины.....	25
3. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ СТАНА 2300/1700 ПАО «ЧМК».....	27
4. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИИ НА СТАНЕ 2300/1700.....	35
5. РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ГОТОВОГО ПРОКАТА.....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	65
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	66

## ВВЕДЕНИЕ

Прокатка является основным видом обработки металлов давлением. Потребление проката в мире растет с каждым годом, так как листовой прокат потребляется всеми областями промышленности. Продукции станов горячей прокатки свойственно наличие дефектов. Это связано с тем, что дефекты прокатного происхождения являются следствием нарушения или несовершенства технологии проката.

Современные представления о качестве продукции основаны на принципе наиболее полного удовлетворения требований и рекомендаций потребителя. Это определяется как совокупность свойств изделия, необходимых для использования в соответствии с назначением. Для проката такими свойствами, в первую очередь, выступают механические свойства и геометрические характеристики полосы. Отдельной позицией качества горячекатаного листового проката выступает состояние поверхности проката.

Для того, чтобы отечественные предприятия могли конкурировать на рынке прокатной продукции, нужно улучшать её качество. Это можно достичь путем автоматизации системы управления, механизации производства, а так же внедрением контроля качества поверхности проката на каждом переделе производства.

## 1. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ЛИСТОВ

В современном металлургическом производстве около половины всего проката осуществляется на станах горячей прокатки, поэтому к процессу и оборудованию предъявляются самые высокие требования по точности размеров и конечным свойствам металла.

Стан горячей прокатки это установка, включающая в себя различные механизмы: подготавливающие, правящие при высокой температуре и обеспечивающие металлу конечную обработку. Ключевым механизмом в прокатном стане является система валков, которая непосредственно соприкасается с металлом, задавая ему необходимые геометрические размеры, форму, качество и свойства поверхности.

Листовой прокат в больших объемах потребляется всеми отраслями промышленности. Причем к его различным видам предъявляются разнообразные сложные требования. Поэтому вопросы его производства и соответствующей технологии имеют громадное значение для страны.

Обратимся к современным листопрокатным агрегатам. Основными объектами для производства листовой стали являются широкополосные станы горячей прокатки. 65-70% всего листового проката производят на этих станах. Крупнейшими ШСГП в нашей стране являются станы 2000 ОАО «НЛМК», ШСГП 2800/1700 ОАО «Северсталь», а также стан 2500 ОАО «ММК».

В основном широкополосные станы горячей прокатки включают в себя методические печи для нагрева под прокатку, до 14 рабочих клетей, моталки прокатанного металла и устройства его охлаждения перед смоткой. Клетки разделяются на черновую и чистовую группы, где осуществляется непрерывная прокатка. Группы клетей соединены промежуточным рольгангом, в конце которого установлены летучие ножницы для обрезки концов промежуточного раската. Прокатанный металл передается к моталкам

отводящим рольгангом. Для удаления окалины используют черновой и чистовой окалиноломатели, устанавливаемые перед клетями черновой группы и перед первой клетью чистовой группы.

На рисунке 1.1 изображена схема расположения оборудования непрерывного стана 2000 ОАО «НЛМК». Характеристикой стана является то, что прокатываемый металл движется через черновую группу только в одном направлении – от печей к чистовой группе. При этом в каждой клетке производится один проход раската [1]

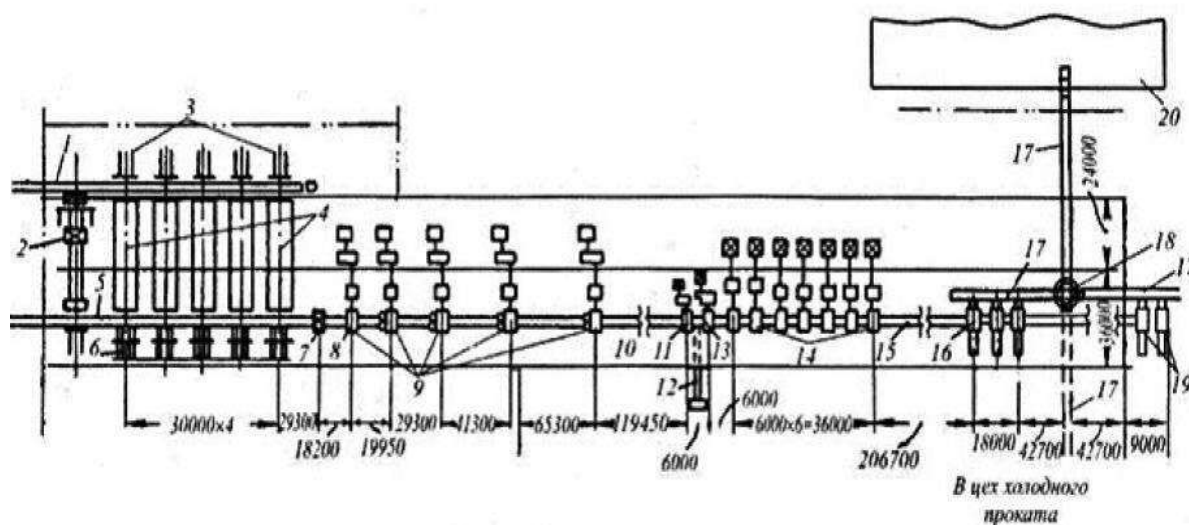


Рисунок 1.1. Схема расположения основного оборудования непрерывного ШСП 2000 ОАО «НЛМК»: 1 – печной рольганг; 2 – тележка для передачи слябов; 3 – толкатели слябов; 4 – нагревательные методические печи; 5 – приемный рольганг; 6 – приемник нагретых слябов; 7 – вертикальный окалиноломатель (ВОК); 8 – двухвалковая клеть; 9 – универсальные четырехвалковые клетки; 10 – промежуточный рольганг; 11 – летучие ножницы; 12 – конвейер для головной и донной обреза; 13 – чистовой двухвалковый окалиноломатель; 14 – чистовые четырехвалковые клетки; 15 – отводящий рольганг; 16 – моталки для смотки тонких полос; 17 – конвейеры; 18 – подъемно-переворотный стол; 19 – моталки для смотки толстых полос; 20 – склад рулонов и отделение листоотделки

Комбинированные ШСП (рисунок 1.2) дают возможность производить толстый лист. Черновая группа этих станов включает в себя обычно две реверсивные клетки. При производстве полосовой продукции две реверсивные клетки становятся черновой группой и производят подкат для чистовой

группы клетей, обычно имеющих шесть непрерывно расположенных клетей.  
Смотка полос производится на моталках.

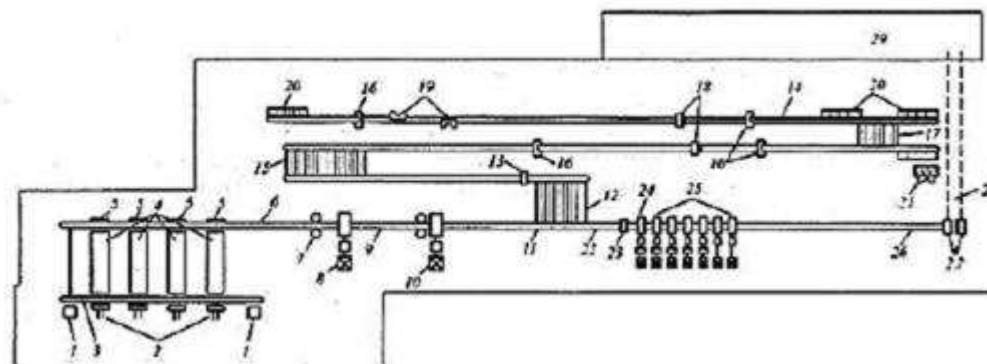


Рисунок 1.2 Схема расположения основного оборудования комбинированного ШСП 2800/1700 ОАО «Северсталь»:

1 – загрузочные устройства; 2 – толкатели слябов; 3 – печной рольганг; 4 – нагревательные методические печи; 5 – буферы (амортизаторы); 6 – приемный рольганг; 7 – клеть с вертикальными валками; 8 – черновая двухвалковая клеть; 9 – рольганг черновой группы клетей; 10 – четырехвалковая универсальная клеть; 11 – отводящий рольганг; 12 – передаточный шлеппер толстых листов; 13 – ролико-правильные машины; 14 – транспортные рольганги; 15 – холодильник; 16 – гильотинные ножницы поперечной резки; 17 – передаточный шлеппер; 18 – дисковые ножницы; 19 – гильотинные ножницы для обрезки боковых кромок листов; 20 – карманы; 21 – гильотинные ножницы с полем «гусиных лапок»; 22 – промежуточный рольганг; 23 – летучие ножницы; 24 – окалиноломатель; 25 – чистовые четырехвалковые клетки; 26 – отводящий рольганг; 27 – моталки; 28 – подземный конвейер транспортировки рулонов; 29 – склад готовой продукции

Главным недостатком является нерациональное использование оборудования, например, когда ведут прокатку толстого листа – простой оборудования чистовой группы клетей, отводящего рольганга и моталок, а при прокатке тонкой полосы нерационально используется оборудование реверсивных клетей. Из-за этого комбинированные станы не получили широкого распространения на сегодняшний день.

Широкополосный стан горячей прокатки 2500 (рисунок 1.3.) включает в себя участок загрузки, участок нагревательных печей, черновой и чистовой групп с промежуточным рольгангом между ними и линии смотки [1]

Участок загрузки состоит из склада слябов и загрузочного рольганга, трех подъемных столов со сталкивателями.

Участок нагревательных печей в свою очередь состоит из шести нагревательных методических печей, рольганга перед печами с толкателями и подпечного рольганга после печей.

Черновая группа включает в себя следующие клетки: реверсивная клеть дуо; уширительная клеть кварто; реверсивная универсальная клеть кварто; универсальная клеть кварто.

Чистовая группа включает в себя летучие ножницы, чистовой окалиноломатель (клеть дуо), 7 клеток кварто. Между ними установлены устройства ускоренного охлаждения полос (межклетьевое охлаждение).

Сброс и разделку недостатков обеспечивает промежуточный рольганг (планируется оснащение рольганга тепловыми экранами типа энкопанель).

Линия смотки состоит из отводящего рольганга с тридцатью секциями охлаждения полосы (верхнее и нижнее душирование), четырьмя моталками, тележками с подъемно-поворотными столами.

Одновременно с широкополосными развивались и толстолистовые одно- и двухклетевые станы с последовательным расположением рабочих клеток. Первая клеть – черновая, вторая – чистовая. Данные станы используются для прокатки толстолистовой стали шириной до 5000 мм. На металлургических предприятиях устанавливается целый ряд толстолистовых двухклетевых станов для прокатки толстых листов из углеродистых, низколегированных и легированных сплавов и сталей. К ним относятся такие станы как 2800, 3600 и 5000.



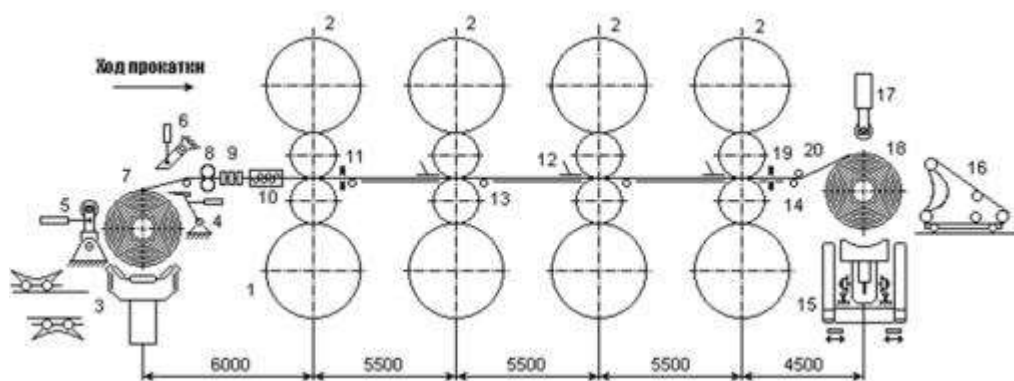


Рисунок 1.3. Схема расположения основного оборудования стана 2500: 1–4–х клетевой стан 2500; 2– клеть «кварто»; 3– загрузочный конвейер и роликовый подъемный стол; 4–скребок отгибателя полосы; 5– ролик прижимной; 6– прижим полосы; 7– барабан разматывателя с рулоном; 8– ролики задающие; 9– ролики центрирующие вертикальные; 10– пресспроводка; 11– изотопный измеритель толщины полосы; 12– проводковый стол; 13, 14 – ролик тензометрический; 15– тележка, кантователь; 16– захлестыватель; 17– ролик прижимной; 18– барабан моталки с рулоном; 19– изотопный измеритель толщины полосы; 20– ролик обводной

Двухклетевые станы имеют более высокую производительность, чем одноклетевые. Исходя из этого, качество листов становится намного лучше, потому как чистовая клеть работает на очищенном от окалины в черновой клетке подкате. Помимо этого, при прокатке листовой стали в черновых и чистовых клетях повышается продолжительность срока службы валков и поэтому уменьшается число перевалок на стане.

Стан состоит из трех последовательно расположенных клетей. Первая клеть – с вертикальными валками диаметром 1000 мм, длиной бочки 700 мм и приводом, осуществляемым от электродвигателя мощностью 850 кВт. Вторая клеть – черновая двухвалковая реверсивная клеть с валками диаметром 1150 мм и длиной бочки 2800 мм. Каждый валок черновой клетки приводится от отдельного электродвигателя постоянного тока.

На рисунке 1.4 изображена схема типового толстолистого стана 2800, прокатывающего слябы толщиной 100...250 мм, шириной 1000...1600 мм, длиной 1500...5500 мм и массой до 8 т.

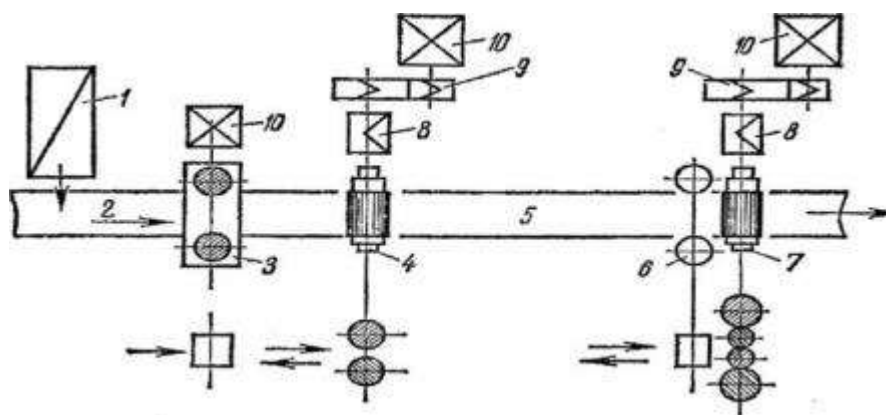


Рисунок 1.4. Схема толстолистого стана 2800: 1 – нагревательная печь; 2 – подводящий рольганг; 3 – черновая клеть с вертикальными валками; 4 – черновая двухвалковая реверсивная клеть; 5 – промежуточный рольганг; 6 и 7 – чистовая универсальная четырехвалковая клеть с вертикальными и горизонтальными валками; 8 – шестеренная клеть; 9 – редуктор; 10 – электродвигатель

Самым современным станом горячей прокатки толстого листа считается стан 3600 завода "Азовсталь". Он имеет современное и уникальное оборудование, обеспечивающее высокое качество продукции, которое удовлетворяет современным производственным требованиям [1]

Стан производит из углеродистых, конструкционных и легированных марок стали листы толщиной от 5 до 50 мм и плиты до 200 мм, шириной 2000...3200 мм и длиной до 28 м. В деформационной части стана находится типовой набор оборудования – вертикальная клеть дуо, черновая и чистовая клетки кварто (без вертикальных валков), за каждой из которых установлены гидросбивы. Одна из отличительных черт стана – это установка поворотных рольгангов не только у черновой, но также и перед и за вертикальной клетью. Это делает возможным применение технологических схем прокатки, не используемых ранее, и активно управлять формой раската. Многообразный набор оборудования стана позволяет получить лист повышенной точности, с заданной структурой металла и высоким уровнем механических свойств. Предусмотрено несколько технологических потоков металла.

Стан 3600 обладает другими преимуществами. Он оборудован месдозами для автоматического измерения усилия прокатки, автоматическими измерителями ширины и толщины проката. Особенный привод валков стана обеспечивает передачу момента в 255 тм на 1 м длины бочки валков, что является в 1,5 раза больше, чем на подобных зарубежных станах. Жесткие клетки позволяют прокатывать лист толщиной более 5 мм. На стане установлены три управляющие счетно-решающие машины, из которых одна управляет технологией нагрева металла под прокатку, вторая — технологией прокатки на стане и третья — режимами термообработки в термических печах. Помимо этого, предусмотрена автоматизированная система управления производством, которая осуществляет слежение за ходом выполнения заказов и планирует производство на месяц, сутки и смену, а также автоматизированная система слежения за металлом в процессе прокатки [1]

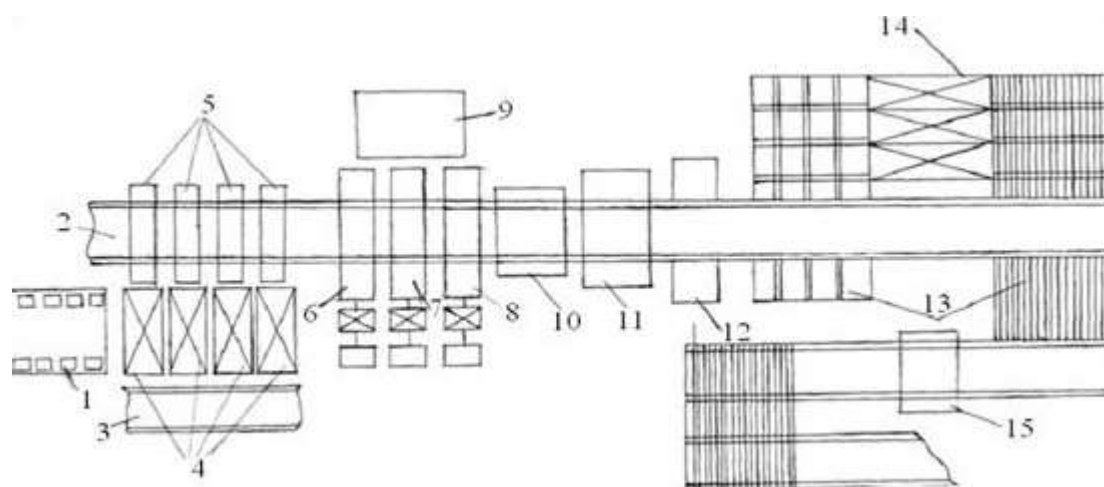


Рисунок 1.5. 1 – нагревательные колодцы; 2 – главный рольганг; 3 – холодный рольганг; 4 – методические печи; 5 – машина безударной выдачи; 6 – вертикальная клетка «дуо»; 7 – черновая клетка «кварто»; 8 – чистовая клетка «кварто»; 9 – печь для отжига; 10 – роликовая закалочная машина; 11 – ножницы горячей резки; 12 – рольганг для обрезки; 13 – цепные шлепперы; 14 – роликовые печи; 15 – роликовая правильная машина

Одним из последних достижений толстолистовой прокатки является строительство и успешное освоение стана 5000 на ОАО «ММК» [1]

Он производит толстолистовой стальной прокат, шириной почти 5 метров. Стан 5000 применяется в нефтегазовой отрасли, судостроении, при строительстве мостов, в машиностроении, но большая часть продукции предназначена для производства труб магистральных нефтепроводов и газопроводов. Трубы, получаемые из этих листов, одношовные и имеют высокие качественные характеристики, которые позволяют использовать продукцию в агрессивной среде.

Стан 5000 на ММК во многом уникален: усилие прокатки клетки, составляющей 12000 тонн делает эту прокатную клетку самой мощной в мире.

Стан оборудован установками прерванной закалки и контролируемого охлаждения, которые позволяют получать гарантированно заданные параметры продукции.

Другими отличительными характеристиками стана являются: высокая оснащенность современными средствами измерения и контроля параметров; абсолютная техническая прозрачность; комплексный подход к автоматизации процессов управления

Это организует индивидуальное сопровождение и паспортризацию процесса производства каждого листа от момента выплавки до момента отгрузки.

Технические характеристики оборудования стана позволяют получать продукцию с суженным диапазоном допуска по геометрическим размерам и форме листа по сравнению со стандартами [1]

Непрерывные станы являются самыми современными станами. В сравнении со станами других типов, непрерывные характеризуются более высокими скоростями прокатки. При этом привод валков рабочих клеток может быть и индивидуальным, и групповым. Непрерывные станы

отличаются наибольшей производительностью в сравнении с другими станами. Данные станы используются в качестве заготовочных, широкополосных, средне- и мелкосортных, проволочных и др. Именно поэтому в данной работе будет рассмотрен стан 2300/1700 ПАО «ЧМК».

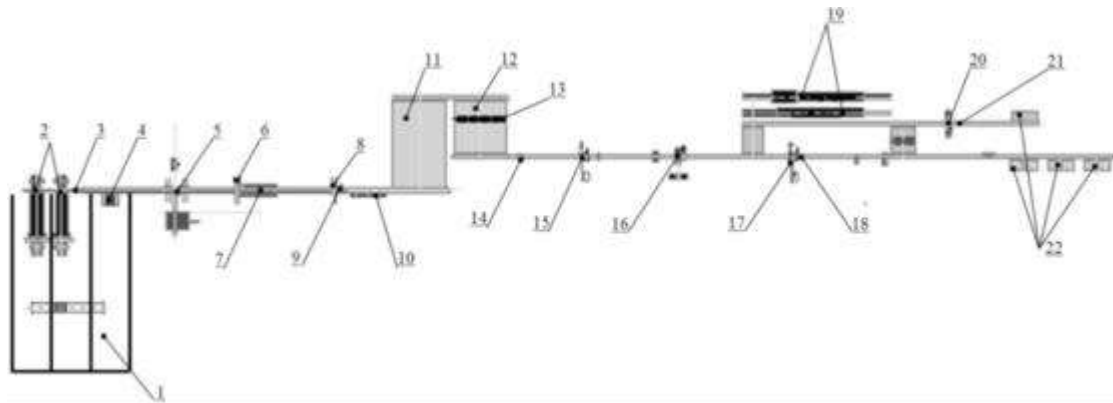


Рисунок 1.6. Схема расположения оборудования стана 5000 ОАО «ММК»: 1 – Склад слябов; 2 – Нагревательные печи; 3 – Первичный гидросбив окалины; 4 – Карман для листов свыше 50 мм; 5 – Рабочая клетка; 6 – Роликоправильная машина №1 (горячей правки); 7 – Установка ускоренного охлаждения; 8 – Роликоправильная машина №2; 9 – Клеймитель; 10 – Карман ПФО (противофлокеного охлаждения); 11 – Холодильник; 12 – Инспекторский стол; 13 – Кантователь; 14 – УЗК; 15 – Ножницы поперечной резки (для обрезки торцов); 16 – Ножницы продольной резки; 17 – Ножницы №2 поперечной резки (для порезки на мерные длины); 18 – Маркировщик; 19 – Термические печи; 20 – Роликоправильная машина №3 (холодной правки); 21 – Маркировщик; 22 – Карманы

## 2. АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ГОРЯЧЕКАТАННОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

Прокат является завершающей стадией металлургического цикла и оказывает большое влияние на количество и качество выпускаемой продукции, а также на различные технологические и экономические показатели завода.

Производство проката является завершающей стадией металлургического цикла и оказывает большое влияние на количество и качество выпускаемой продукции, а также на различные технологические и экономические показатели завода. Контроль каждой операции технологического процесса прокатки металла необходим для получения продукции высокого качества без снижения производительности оборудования.

Продукции станов горячей прокатки, которая может быть и товарной продукцией и подкатом, свойственно наличие поверхностных дефектов как сталеплавильного, так и прокатного происхождения. Причем по внешним признакам на готовой продукции не всегда представляется возможным точно их идентифицировать.

Возрастающие требования, предъявляемые к качеству поверхности горячекатаного проката, являются мощным стимулом совершенствования технологии его производства, которое невозможно без использования современных методов контроля и правильной идентификации обнаруженных дефектов.

Рассмотрим основные прокатные дефекты, не допустимые на поверхности горячекатаных заготовок.

## 2.1 Прокатная плена

Дефект представляет собой отслоение металла, которое соединено с основным металлом, и ориентировано в направлении прокатки (рисунок 2.1, а). Дефект может сопровождаться разрывами металла. В зоне дефекта имеет место небольшое обезуглероживание (рисунок. 2.1, б) [2–5]

Причина возникновения дефекта: сверхнормативная выработка валков или их травмирование, приводящее к образованию на металле выступов, которые при дальнейшей прокатке раскатываются в плену.

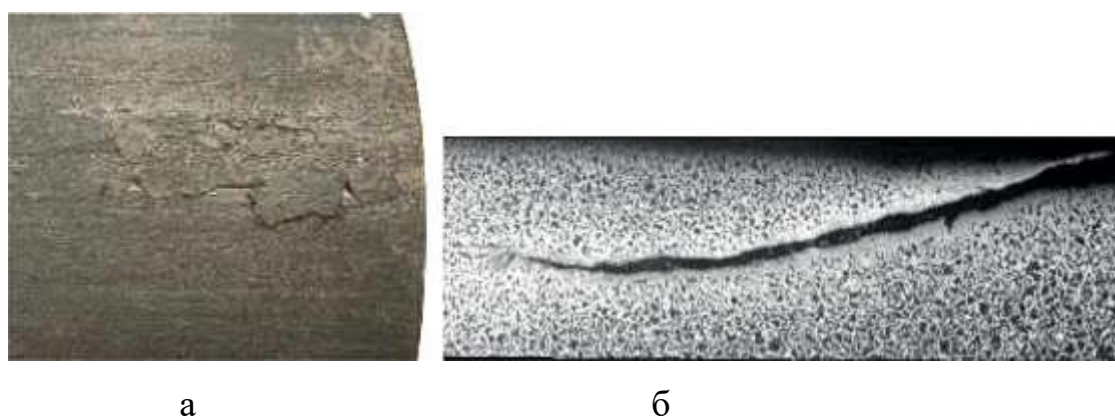


Рисунок 2.1. Дефект «Прокатная плена»: а – внешний вид; б – при увеличении микроскопа.  $\times 200$

Устранение дефектов: не допускать сильной выработки или применения травмированных валков, проводить своевременную перевалку.

## 2.2 Вкатанная окалина

Дефект представляет собой тонкие полоски из темно-серых мазков, расположенных строчкой (дорожкой), вытянутых в направлении прокатки и образующихся при раскатывании достаточно крупных частиц вкатанной окалины (рисунок 2.2 а). На поперечном микрошлифе выявляются мелкие углубления, заполненные окалиной (рисунок 2.2 б) [2–5]

Причина возникновения дефекта: наличие на непрерывнолитой заготовке перед прокаткой остатков окалины вследствие

неудовлетворительной работы гидросбива при горячей прокатке. Причиной также может быть оплавление или перегрев непрерывнолитой заготовки в методической печи и некачественная подготовка поверхности валков стана горячей прокатки.

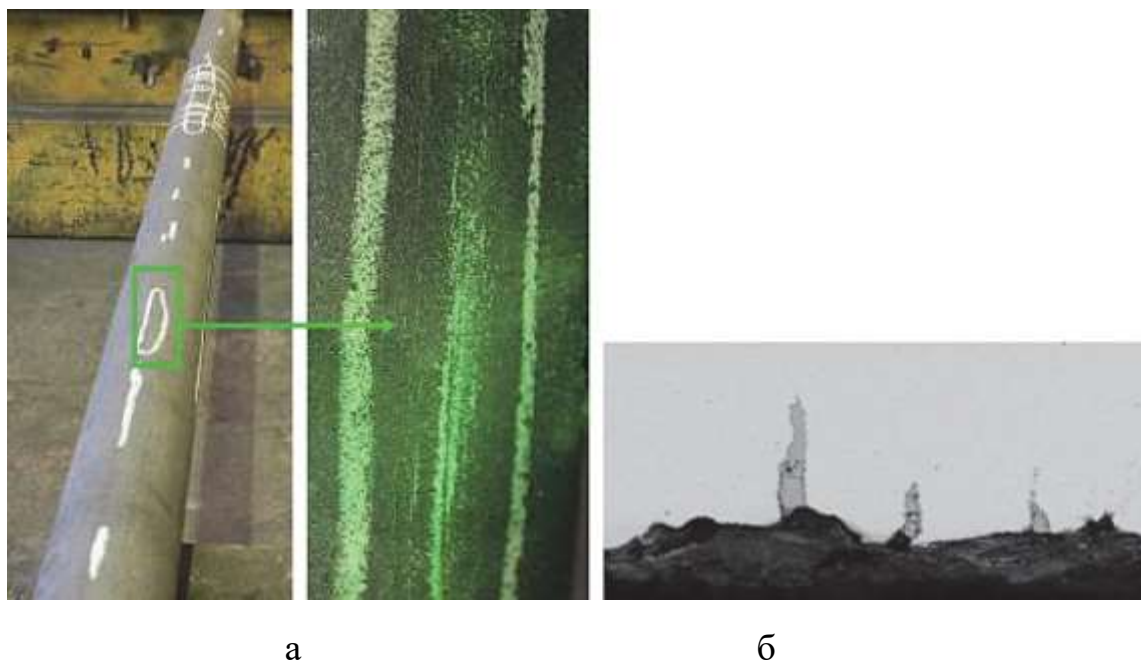


Рисунок 2.2. Дефект «Вкатанная окалина»: а – внешний вид; б – при увеличении микроскопа.  $\times 100$

Устранение дефектов: обеспечение полного удаления окалины с поверхности непрерывнолитой заготовки при горячей прокатке, в том числе за счет бесперебойной качественной работы гидросбива, своевременной замены сопел и их правильной установки, достаточного давления воды в системе, соблюдение режима нагрева слябов без перегрева и оплавления, своевременная перевалка рабочих валков на стане горячей прокатки и отсутствие перегревов металла.

### 2.3 Отпечаток

Дефект поверхности, представляющий собой углубления или выступы, расположенные по всей поверхности раската или на отдельных его участках,



образовавшихся от выступов или углублений на прокатных валках. Дефект может периодически повторяться по длине заготовки (рисунок 2.3 а). В сечении дефекта наблюдается небольшая вмятина (выпуклость) или изменение шероховатости по сравнению с участками не травмированного проката (рисунок 2.3 б). [6]

Причины возникновения дефекта: наличие выступов или углублений, наваров, порезов, выкрошек на поверхности прокатных валков, попадание металлических частиц в очаг деформации при прокатке.

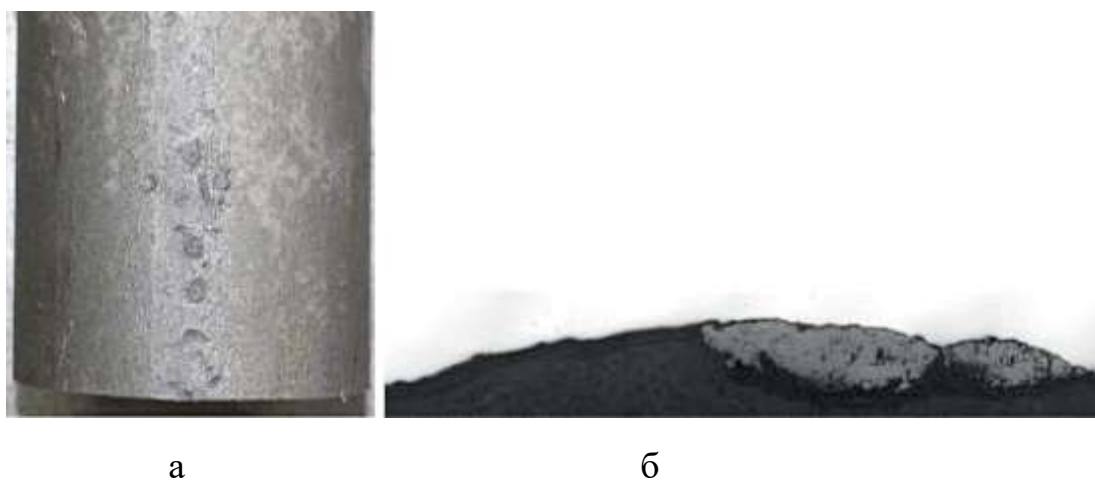


Рисунок 2.3. Дефект «Отпечаток»: а – внешний вид; б – при увеличении микроскопа.  $\times 200$

Устранение дефекта: своевременно производить перевалку рабочих валков и очистку или замену роликов; соблюдать чистоту проводковой арматуры стана, не допускать попадания посторонних частиц на заготовку.

#### 2.4 Риска

Дефект поверхности, представляющий собой продольное углубление с закругленным или плоским дном (рисунок 2.4, а) [7]

Дефект сопровождается изменением структуры металла, возможно наличие окалины, закатанной под борттик риски (рисунок 2.4, б).

Причины возникновения дефекта: травмирование поверхности металла прокатной арматурой. Неудовлетворительное состояние поверхности роликов рольгангов.

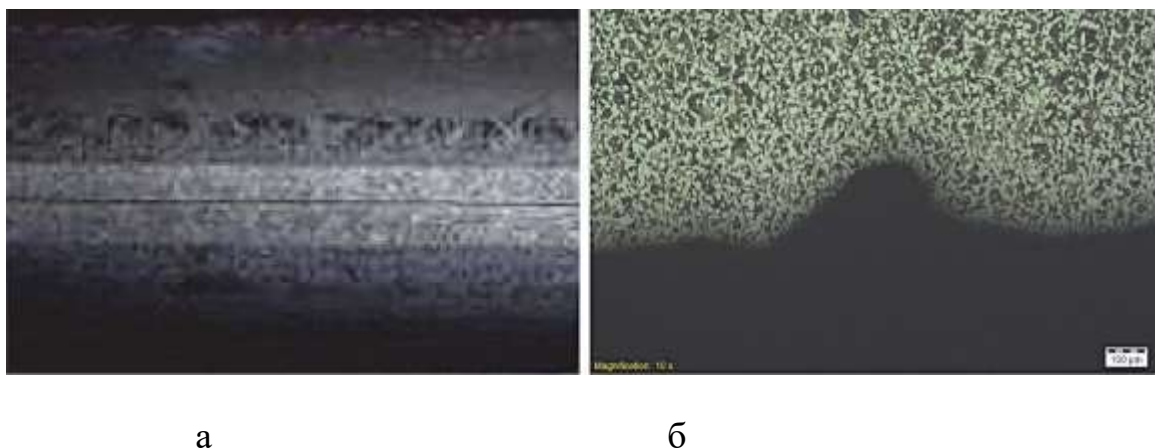


Рисунок 2.4. Дефект «Риска»: а – внешний вид; б – при увеличении микроскопа  $\times 200$

Устранение дефекта: систематически проверять состояние поверхности прокатной арматуры.

## 2.5 Рванина

Рванина представляет собой раскрытые разрывы, расположенные перпендикулярно или под углом к направлению наибольшей вытяжки металла; образуются при горячей деформации металла из-за пониженной пластичности. Дефект образуется при горячей деформации малопластичного металла (рисунок 2.5, а) [2,5,7]

Рванина на прокате обычно расположена полосами вдоль направления деформации, часто периодически повторяясь.

В момент образования разрывы обычно тонкие, но последующая деформация приводит к их расширению. В зоне рванин микроструктура обычно крупнозернистая и по границам зерен наблюдаются разрывы, заполненные оксидами (рисунок 2.5, б).

Если рванины возникают до передела (горячей деформации), то обезуглероживание и окисление в зоне дефекта могут отсутствовать или быть незначительными.

Причины возникновения дефекта: при удовлетворительном качестве металла рванины могут образоваться вследствие неблагоприятных условий нагрева (перегрев, пережог, неравномерный нагрев, недогрев) или деформации (большие степени обжатия, неоптимальная схема калибровки).

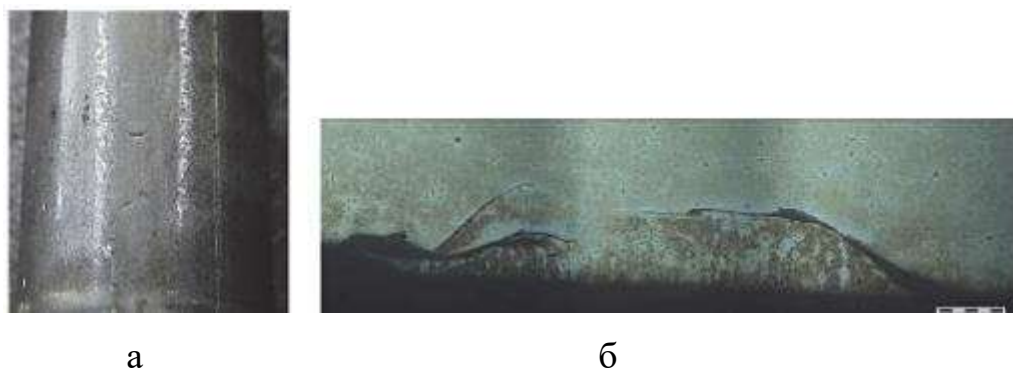


Рисунок 2.5. Дефект «Рванина»: а – внешний вид; б – при увеличении микроскопа.  $\times 200$

Устранение дефекта: контроль режимов нагрева и выдержки в печи непрерывнолитых заготовок.

## 2.6 Подрез

Подрез представляет собой продольные углубления на поверхности проката, расположенные по всей длине или на отдельных его участках, образовавшиеся из-за неправильной настройки валковой арматуры или одностороннего перекрытия калибра (рисунок 2.6, а, б) [2–5]

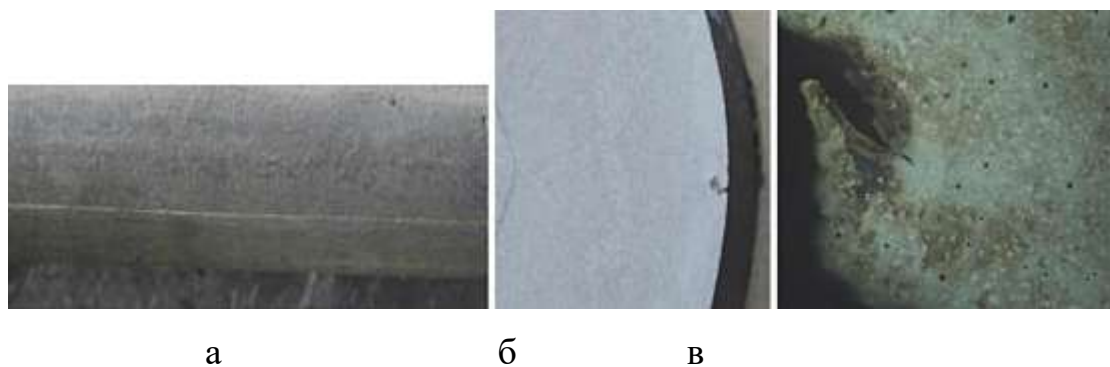


Рисунок 2.6. Дефект «Подрез»: а – внешний вид; б – макроструктура; в – при увеличении микроскопа.  $\times 200$

Микроструктура металла в зоне прикатанного подреза характеризуется обезуглероживанием и наличием вкатанной окалины (рисунок 2.6, б).

Устранение дефекта: правильная настройка валков, валковой арматуры, правильная настройка клетки.

## 2.7 Закат

Закат представляет собой прикатанный прямолинейный продольный выступ с одной стороны проката или с двух диаметрально противоположных его сторон. Дефект, как правило, проходит по всей длине прутка (рисунок 2.7, а) [8]

На поперечных микрошлифах видна характерная особенность заката – расположение под острым углом к поверхности металла. Признак заката – конец дефекта не разветвлен и огибается волокном. Дефект заполнен окалиной и металл по его стенкам обезуглерожен (рисунок 2.7, б).

Дефект образуется при прокатке заготовок или прутков с подрезами, усами, заусенцами и другими продольными выступами. Дефект может также получаться на конце раскатов из-за неправильной задачи в калибры.

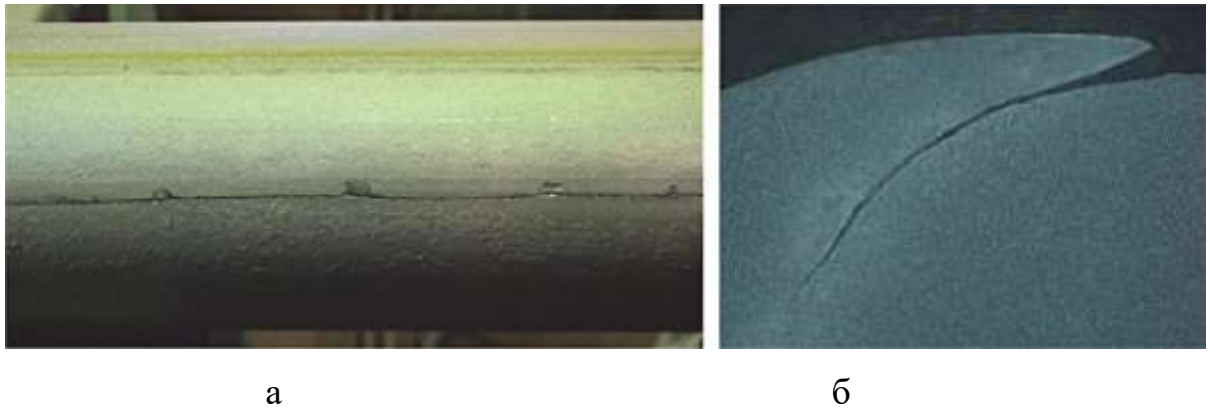


Рисунок 2.7. Дефект «Закат»: а – внешний вид; б – при увеличении микроскопа.  $\times 200$

## 2.8 Чешуйчатость

Чешуйчатость – дефект поверхности, представляющий собой отслоение или разрывы в виде сетки, образовавшиеся при прокатке из-за перегрева (пережога) или пониженной пластичности металла периферийной зоны. Чешуйчатостью может быть покрыта вся поверхность проката или часть ее.

При пониженной пластичности периферийной зоны в ней при первом обжатиі возникают мелкие разрывы, которые при последующих проходах раскрываются в мелкие чешуйки языкообразной формы, связанные с металлом (рисунок 2.8, а). На микрошлифах поверхностного слоя с резко выраженной чешуйчатостью видна сетка оксидов, образовавшихся по следам разрывов (рисунок 2.8, б) [2–5]

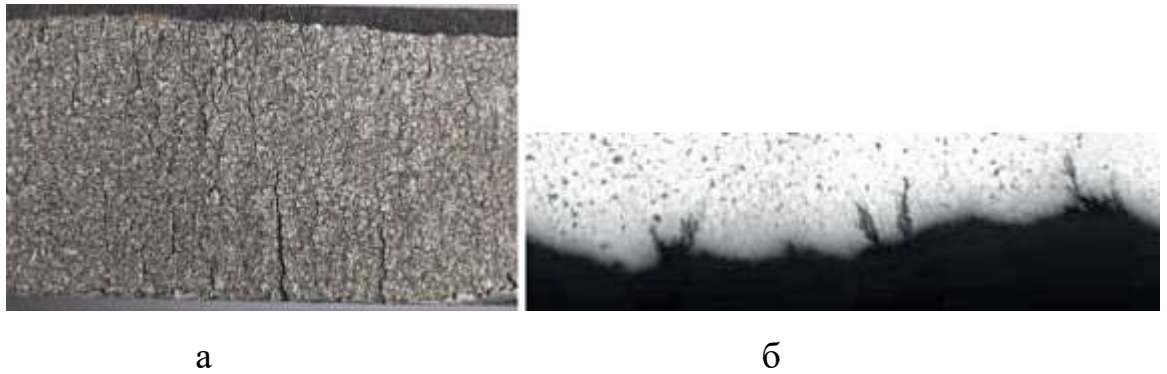


Рисунок 2.8. Дефект «Чешуйчатость»: а – внешний вид; б – при увеличении микроскопа.  $\times 100$

В том случае, если низкая пластичность поверхностного слоя металла связана с высокой температурой нагрева поверхностного слоя перед выдачей металла на деформацию, границы кристаллитов оплавляются и по ним при деформации возникают разрывы.

Для предотвращения появления чешуйчатости необходимо соблюдать оптимальные температуры нагрева стали перед деформацией (не допускать перегрева и пережога поверхности).

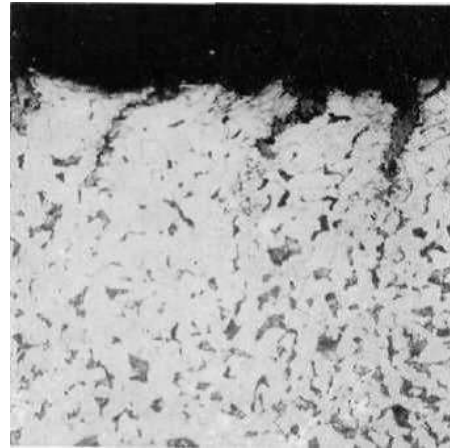
## 2.9 Трещины

Трещины (рисунки 2.9–2.10) – линейные нарушения сплошности на поверхности изделий, а также катаной проволоки, расположенные чаще всего в продольном направлении и проходящие перпендикулярно или наклонно в глубь материала [9]

Их возникновение и распределение обусловлены самыми различными причинами. Трещины, образовавшиеся вследствие неправильной калибровки при горячей прокатке, ориентированы в продольном направлении. Обычно тонкие, короткие, встречаются в большом количестве. Тонкие трещины, расположенные на равном расстоянии друг от друга, возникающие вследствие изменения (чаще посадки) калибра при горячей прокатке. Могут быть распределены по всему объему.

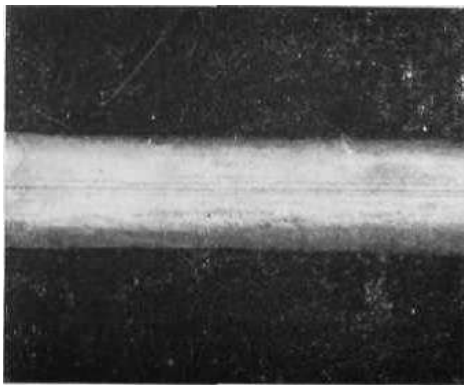


а

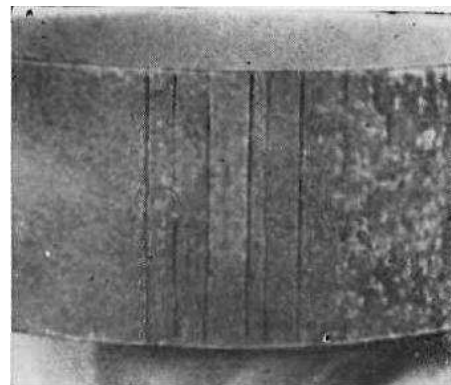


б

Рисунок 2.9. Горячекатаный пруток с трещинами, образовавшимися вследствие неправильной калибровки: а – общий вид; б – поперечный шлиф.



а



б

Рисунок 2.10. Тонкие трещины на поверхности изделий, возникшие вследствие: а – сильного трения в калибрах при горячей прокатке; б – проскальзывания в калибре.

Причины возникновения трещин: одновременная осадка и уширение (сжимающие и растягивающие напряжения) при прокатке (неблагоприятная калибровка). Углубления, возникающие при прокатке из-за дефектной поверхности прокатных валков. Слишком большое различие в диаметрах одновременно работающих (сопряженных) валков. Неблагоприятное сопряжение между валками и заготовкой при шероховатой поверхности

валков. Слишком низкие или слишком высокие температуры нагрева и прокатки. Чрезмерное уширение при горячей прокатке; дефекты калибровки, особенно при прокатке профилей. Быстрое (неодновременное) охлаждение краев (ребер) при горячей прокатке.

#### 2.10 Раковины, волосовины

Раковины, волосовины (рисунок 2.11) – беспорядочно расположенные на поверхности, чаще всего различимые невооруженным глазом несплошности (выщерблены), которые лишь частично связаны с основным материалом. Более крупные называют раковинами, более мелкие — волосовинами.

Причины возникновения. Дефекты разливки стали (исходные раковины, наплывы, брызги, поперечные и продольные трещины, лежащие вблизи поверхности неметаллические включения). Дефекты зачистки слитка или заготовки, в том числе и дефекты огневой зачистки. Слишком большие насечки или шероховатости на поверхности валков при прокатке слитков на обжимном стане или заготовок в первых калибрах сортового стана. Сильный износ калибров при прокатке в черновой линии.

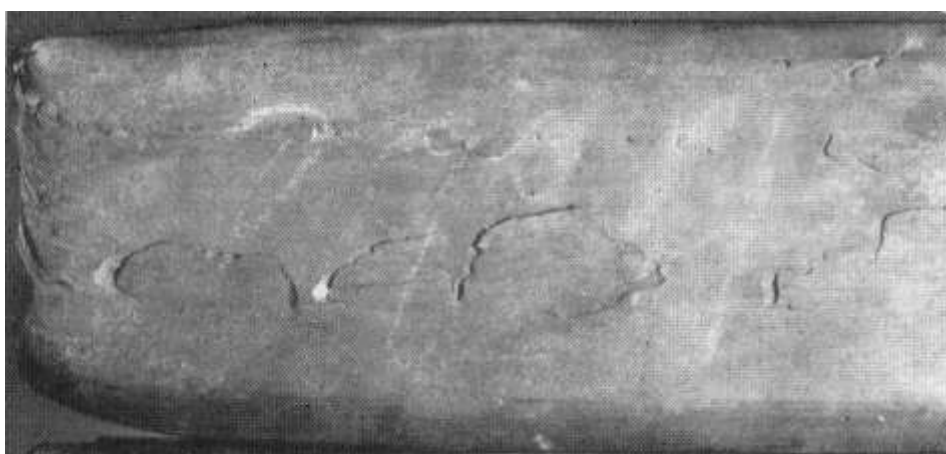


Рисунок 2.11. Раковины на поверхности горячекатаной заготовки



Способы устранения: поверхностные волосовины могут быть устранены механической строжкой (фрезерованием) и зашлифовкой. Внутренние волосовины не устраняются, и металл бракуется.

### 2.11 Рябизна

Рябизна – дефект в виде мелких углублений (шероховатости) на поверхности проката, выявляемые после удаления окалины. Дефект может занимать значительную поверхность, располагаясь преимущественно отдельными участками вдоль направления деформации.

Причины образования : неудовлетворительная подготовка поверхности валков, ведущая к образованию рябизны; пониженная твердость поверхности валков, при которой они в процессе работы приобретают неровную (шероховатую) поверхность; несвоевременная смена валков с изношенной поверхностью; сильный разогрев валков в процессе работы, который вызывает понижение твердости закаленной поверхности валков и их повышенное изнашивание; большое давление при прокатке (особенно при прокатке тонких листов пакетами), в связи с образованием на валках наростов за счет привариваемых частиц деформируемого металла.

Способы предупреждения: соблюдение технологии прокатки, в том числе, подготовка поверхности валков.



Рисунок 2.12. Виды поверхности металла горячекатаной заготовки

## 2.12 Морщины

Морщины – дефект поверхности металла в виде группы чередующихся продольных выступов и углублений, расположенных, как правило, по всей длине проката. На листах морщины преимущественно наблюдаются на кромках, на сортовом прокате - на поверхности вдоль направления деформации. В некоторых случаях морщины могут иметь вид прикатанных складок. Глубина дефекта небольшая и обычно не превышает одного миллиметра. На поперечных микрошлифах морщины имеют вид пластинок с гладкими стенками и тупыми концами. Пустоты заполнены окалиной [9]

Причины образования: нарушение технологии прокатки иликовки; нарушение технологии подготовки поверхности слитка (поковки) и режимов нагрева и охлаждения металла.



а



б

Рисунок 2.13. а – вид поверхности металла с морщиной; б – микроструктура металла с морщиной

Способы предупреждения: соблюдение технологии прокатки иковки металла, обеспечивающей его равномерную деформацию и необходимую степень обжатия; соблюдение технологии подготовки поверхности и нагрева металла, режимов температурно-деформационной обработки; контроль за формой и степенью выработки валков (калибров).

На основе рассмотренных дефектов, можно сделать вывод, что дефекты прокатного происхождения являются следствием нарушения или несовершенства технологии проката. Также их наличие зависит от правильного подобранного режима нагрева металла и соблюдения процесса самого проката, охлаждения после прокатки, качества поверхности, структуры и механических свойств.

### 3. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ СТАНА 2300/1700 ПАО «ЧМК»

Стан предназначен для горячей прокатки полосы в рулонах толщиной 2...8 мм, шириной 600...1500 мм и для горячей прокатки листов толщиной 4...20 мм, шириной 600...2000 мм и длиной после нарезки 1500...6500 мм [10]

Стан предназначен в основном для прокатки легированных нержавеющей марок сталей – хромоникелевых и хромистых, а также марганцовистых, слаболегированных и углеродистых сталей [1]

Исходной заготовкой являются слябы толщиной 90...150 мм, длиной 1850...4000 мм, шириной 600...980 мм для углеродистых и слаболегированных сталей и 600...730 мм для легированных сталей и весом 0,8...4 тонны.

Горячекатаные рулоны из нержавеющей и марганцовистых сталей предназначены как подкат для цеха холодной прокатки, а так же рулоны из углеродистых сталей – для разделки на штрипсы в цехе холодной прокатки.

#### 3.1 Оборудование стана 2300/1700

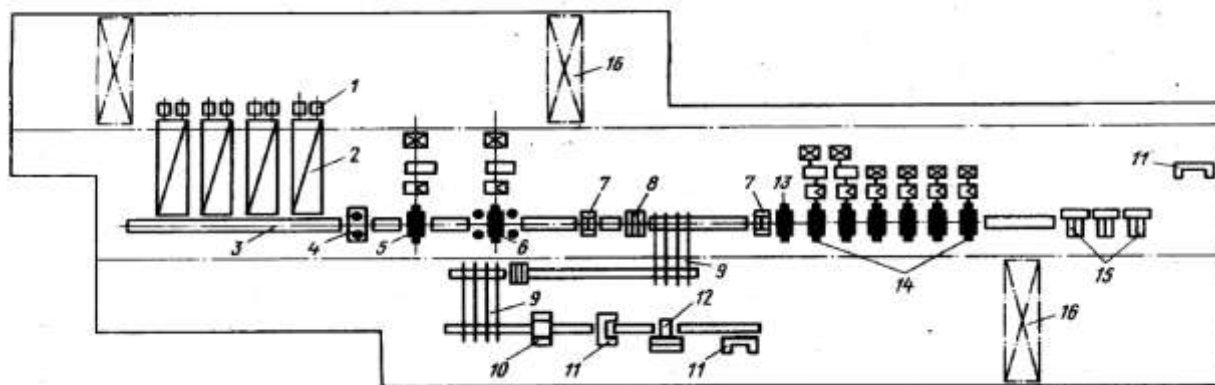


Рисунок 3.1 Схема основного технологического оборудования стана 2300/1700: 1 – толкатели, 2 – нагревательные печи, 3 – рольганг, 4 – черновой вертикальный окалиноломатель, 5 – уширительная клетка 2300, 6 – универсальная клетка 2300, 7 – ножницы, 8 – роликотправильная машина, 9 – шлепперы, 10 – дисковые ножницы, 11 – ножницы гильотинные, 12 – маркировочная машина, 13 – чистовой окалиноломатель, 14 – рабочие клетки чистовой группы, 15 – моталки, 16 – краны

Стан оборудован четырьмя методическими нагревательными печами (2).

Стан предназначен для горячей прокатки полосы в рулонах и листах.

Стан является комбинированным – с двумя потоками: 1) для прокатки полосы в рулонах во всех 8 клетях «2300» и «1700», заканчивающейся передачей горячих рулонов на конвейер в цех холодной прокатки; 2) для прокатки листовых полос в первых двух клетях «2300» с уводом их транспортером полос в боковой поток, заканчивающийся укладкой порезанных листов в карманы.

Стан является полунепрерывным. Первые две клетки «2300» реверсивные: первая уширительная клетка типа «дуо» (5), вторая – «кварто» универсальная (6). Непрерывная группа – чистовые клетки «1700» от третьей до восьмой включительно клетки «кварто» (14).

Максимальная выходная скорость прокатки листа в универсальной клетке 6,1 м/сек и выходная скорость рулонной полосы из последней клетки непрерывной чистовой группы – 10 м/сек.

Черновой окалиноломатель (4) имеет только одни вертикальные валки, без горизонтальных: сколовшаяся окалина будет удалена здесь же гидросбивом водой высокого давления.

Для обрезки переднего конца листа установлены ножницы гильотинного типа (11), а для обрезки переднего листа подката рулонной полосы – летучие барабанные ножницы (7). При необходимости обрезается и задний конец.

В потоке прокатки полосы в рулонах установлена непрерывная подогревательная печь с роликовым подом для подогрева полосы до предусмотренной схемой прокатки температуры, особенно для нержавеющей и других новых марок сталей с высоким сопротивлением деформации.

Для удаления окалины с поверхности прокатываемого металла применяют гидросбив водой высокого давления, установленный в

следующих местах: за вертикальным черновым окалиноломателем (4); за уширительной, за универсальной клетями, за чистовым окалиноломателем (13) и за первой клетью чистовой группы.

На стане установлено принудительное охлаждение горячей полосы водой от специальных сопел в двух местах: на рольгангах за чистовой группой клетей и на рольганге с ребристыми роликами за транспортером полос.

Управление работой всех механизмов, участвующих в технологическом процессе, полностью автоматизировано. В том числе запроектирована работа в автоматическом режиме следующих участков: механизмов и рольгангов печной группы по нескольким программам; района уширительной и универсальной клетей с участвующим оборудованием по семи программам – схемам прокатки, в зависимости от задаваемых слябов и получаемого сечения полосы; гильотинных и летучих ножниц; шаговая работа транспортера полос, рольгангов, инспекторского осмотра полос, ножниц холодной резки с рольгангами, упорами, клеймителем листов и листоукладывателями; подогревательной печи с рольгангами; непрерывной группы клетей с участвующим оборудованием; района моталок с кантователями рулонов; конвейерами и подъемно–поворотным столом; отдельно стоящие агрегаты правки, закалки, мойки, сушки и сортировки листов. Включение и выключение всех установок гидросбива окалины с горячей полосы водой высокого давления и систем охлаждения горячей полосы на рольгангах за чистовой группой и на рольганге с ребристыми роликами (за транспортером полос) также производится автоматически.

На всех механизмах стана предусмотрен также переход с автоматического на ручное управление.

За универсальной клетью установлен автоматический измеритель толщины проката. За чистовой группой установлен автоматический измеритель ширины и толщины.

Чистовая группа клетей снабжена приборами автоматического измерения давления в металлах на валки с дачей показаний на пульта управления и приборами автоматического контроля величины петли полосы и ее регулирования между клетями.

Для удаления окалины из–под главных линий прокатки и мест ее скопления под рольгангами и моталками предусмотрены запроектированные устройства для смыва окалины водой по специальным желобам в отстойный бассейн, из которого окалина удаляется грейфером.

### 3.2 Описание технологического процесса

Слябы поступают в цех на железнодорожных платформах, откуда разгружаются пратцен–краном и укладываются по маркам стали и весу. Производится осмотр слябов и их зачистка: огневая и механическая.

В печах слябы нагреваются до температуры 1280 градусов. Нагретые слябы выталкиваются из печей на приемный рольганг, по которому подаются к вертикальному окалиноломателю, направляемые соответственно настроенными раздвижными линейками, сляб обжимается по кромкам вертикальными валками на величину до 30 мм, вследствие всего вся окалина должна сколоться на всю ширину, а за окалиноломателем под действием гидросбива она удаляется со сляба и смывается под рольганг.

В уширительной клетки сляб подвергается реверсивной прокатке с обжатием 5...11 пропусков, направляясь в валки роликами рольгангов и манипуляторными линейками. При необходимости уширения сляб подвергается кантовке на 90 градусов (преимущественно с задней стороны) с помощью подъемно–поворотных столов с участием манипуляторных линеек и толкателей, обеспечивающих правильную и надежную задачу раската в валки. В заданных пропусках за клетью сляб подвергается гидросбиву окалины водой высокого давления. Затем раскат поступает в универсальную клеть, где подвергается реверсивной прокатке по заданным схемам в 3...9 пропусков с участием вертикальных валков, которые могут раздвигаться и

настраиваться для лучшего захвата раската за каждым пропуском. И здесь после заданных проходов за универсальной клетью обе поверхности раската подвергаются гидросбиву окалины водой высокого давления.

Скорость прокатки в уширительной клети равна 1 и 1,4 м/сек, а в универсальной регулируется в пределах 1,5...6,1 м/сек.

Прокатка листа заканчивается в универсальной клети, после чего его передний конец (а при необходимости и задний) обрезается на ножницах горячей резки, затем лист подвергается правке в правильной машине, выйдя из которой уводится с рольганга транспортером полос в сторону от линии горячей прокатки, после остановки его и фиксации упором.

Подкат полосы толщиной 15...24 мм, полученный в универсальной клети, не обрезается на ножницах и не подвергается правке в правильной машине, которая в этом случае механически отодвигается в сторону и ее место замещается пятироликовой секцией рольганга. Подкат полосы движется напрямую к подогревательной печи, которую проходит по двум режимам: а) если подкат для дальнейшей прокатки в чистовой группе не требует подогрева; он подается роликовым подом со скоростью до 5,8 м/сек; б) при необходимости подогрева подката он движется в печи в режиме покачивания роликового пода со скоростью 0,4 м/сек с выдачей из печи (и задачей) со скоростью от 1,5 до 3,7 м/сек.

Далее, подкат полосы проходит через летучие ножницы, которые автоматически обрезают передний ( и в случае необходимости задний) конец полосы, проходит чистовой окалиноломатель с расположенным за ним гидросбивом окалины и поступает в чистовую группу клетей, где также подвергается при необходимости гидросбиву окалины за клетью №3 и прокатывается в шести чистовых клетях до необходимой толщины.

На рольгангах за чистовой группой клетей горячая полоса, проходя по ним, охлаждается сверху и снизу струями воды от охладительной системы, затем моталками горячей полосы сматывается в рулоны, которые передаются кантователями рулонов и приемниками на конвейеры рулонов. Последние



транспортируют рулоны горячекатанной полосы к подъемно–поворотному стану, который передает их на конвейер, идущий в цех холодной прокатки. На этом заканчивается цикл получения горячекатанной широкой полосы в рулонах.

Второй технологический поток для получения листового проката начинается транспортером полос. Транспортер работает в шаговом режиме, забирая каждый лист с рольганга и одновременно укладывая крайний лист на рольганг. Транспортер полос выполняет также роль холодильника листов, охлаждаемых циркулирующим воздухом.

С рольганга цепным транспортером лист подается на инспекторский стол. Левая кромка уложенного кантователем на рольганге листа располагается на расстоянии 1130 мм от оси рольганга. В таком положении лист подается на рольганг перед дисковыми ножницами, где производится разметка линии обреза боковой кромки листа и центрирование его по этой линии толкающими головками и тянущими пальцами от реечных механизмов. Зажатая листовая полоса проходит через дисковые ножницы, в которых происходит двухсторонняя обрезка продольных боковых кромок листа шириною до 100 мм. Скорость прохождения листа через дисковые ножницы равна  $0,375 \dots 0,41$  м/сек.

Обрезанный по бокам лист поступает далее на рольганг и разрезается на мерные длины на ножницах с участием передвижного упора, настраиваемого на соответствующую длину.

При дальнейшем движении каждый лист останавливается опускающимся упором, клеймится и маркируется специальным устройством. Затем листы останавливаются опускающимся упором перед одним из трех карманов и укладываются соответствующим листоукладывателем в этот карман с пакетированием листов в стопы.

На этом заканчивается цикл прокатки листов, порезанных на мерные длины. Далее они проходят термообработку, травление, отделку в отделении отдельно стоящих агрегатов.

Листы углеродистой и марганцовистой стали, уложенные в стопы, подвергаются отжигу в колпаковых печах.

Листы нержавеющей стали и других марок проходят закалку, или нормализацию, в агрегате заковки. Они укладываются стопой на приемный стол опрокидывателя стопы и краном – раскладчиком раскладываются по одному на рольганг. Далее, этим рольгангом листы подаются в закалочную печь, где в течение 2...12 минут они нагреваются до необходимой температуры (до 1100 градусов), передвигаясь все время роликовым подом в качательном режиме со скоростью 0,2 м/сек. Выйдя из печи нагретые листы поступают в закалочную машину, где прижимаются нижними суппортами к верхним и подвергаются закалке водой, поливаемой струями в течение 0,5...4 минут в зависимости от толщины листов.

Далее листы подаются рольгангом в правильную машину, а затем укладываются в карманы столами листоукладывателем.

Листы, подвергающиеся нормализации, проходят закалочную машину без остановки и на рольганге с ребристыми роликами и охлаждаются на воздухе, передвигаясь взад и вперед в качательном режиме со скоростью 0,2 м/сек. Далее они идут аналогично листам, подвергнутым закалке.

Перед процессом травления листы из опрокинутой стопы захватываются по одному и устанавливаются в травильные корзины (вертикально с небольшим уклоном между штырями) с помощью опрокидывателя стопы со стационарным столом и крана – раскладчика.

Далее листы в корзинах подвергаются травлению: а) листы нержавеющей стали – в расплавах щелочных ваннах – печах в комбинации с кислотными ваннами с последующей промывкой в промывных ваннах; б) листы углеродистой стали и других марок в кислотных ваннах с механизмами качения в которых обе ванны кислотные, или одна ванна кислотная, другая – промывная.

В травильное помещение листы стопками подаются тележкой, а после травления и промывки вывозятся в корзинах тележкой и подаются к моечно – сушильному агрегату.

Корзина с листами ставится на специальный стенд, затем листы из корзины по одному вытаскиваются краном – раскладчиком, устанавливаются на рычаги приемника листов рольганга и последними укладываются на ролики рольганга. Регулируя положение упоров на приемных рычагах укладывателей, листы различных ширин ложатся на ролики симметрично по оси рольганга. В моечных аппаратах листы, проходящие со скоростью 0,5...2 м/сек, подвергаются поверхностной чистке щеточными роликами и мойке: в первом аппарате – горячим щелочным раствором для нейтрализации остатков кислоты и во втором аппарате – горячей водой. Температура раствора воды – 80...90 градусов. В сушильном устройстве листы, проходя по ребристым роликам, сушатся действием струй горячего воздуха, подводимого по трубам сверху и снизу листов. Затем листы с рольганга снимаются и укладываются в карманы листоукладывателем.

И, наконец, на сортировальном агрегате листы подвергаются последнему контролю, отбору и укладке в стопы.

## 4. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИИ НА СТАНЕ 2300/1700

### 4.1. Расчет формоизменения

Рассчитаем формоизменение по проходам для прокатки круглого профиля диаметром 4 мм из заготовки размером: высота  $h_0 = 140$  мм, ширина  $b_0 = 1900$  мм, длина  $l_0 = 1000$  мм, марка стали – 10, температура нагрева – 1210 °С.

Зададим обжатие в первом проходе [11]

$$\Delta h = 15 \text{ мм}$$

Определим высоту полосы на выходе

$$h_1 = h_0 - \Delta h,$$

где  $h_0$  – высота полосы до входа;

$$h_1 = 140 - 15 = 125 \text{ мм}$$

Рассчитаем уширение по формуле

$$\Delta b = \frac{0,4 \cdot \Delta h \cdot l}{h_0},$$

где  $l$  – длина дуги захвата, находится по формуле

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

где  $D$  – диаметр бочки валка

$$l = \sqrt{15 \cdot \left(\frac{1100}{2}\right)} = 90,83 \text{ мм}$$

$$\Delta b = \frac{0,4 \cdot 15 \cdot 90,83}{140} = 3,89 \text{ мм}$$

Определим ширину полосы на выходе

$$b_1 = b_0 + \Delta b,$$

$$b_1 = 1900 + 3,89 = 1903,89 \text{ мм}$$

Определим площадь сечения полосы до и после прокатки

$$S_0 = b_0 \cdot h_0 = 140 \cdot 1900 = 266000 \text{ мм}^2$$

$$S_1 = b_1 \cdot h_1 = 125 \cdot 1903,89 = 237986,6 \text{ мм}^2$$

Найдем степень деформации

$$\varepsilon = 1 - \frac{h_1}{h_0}$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{125}{140} \cdot 100 = 10,71 \%$$

Определим вытяжку за проход

$$\lambda = \frac{S_0}{S_1}$$

$$\lambda = \frac{266000}{237986,6} = 1,11$$

Определим длину полосы на выходе

$$l_1 = l_0 \cdot \lambda,$$

$$l_1 = 1000 \cdot 1,11 = 1117,7 \text{ мм}^2$$

Остальные проходы рассчитываются аналогично. Результаты расчетов занесены в таблицы 4.1.1– 4.1.3

Таблица 4.1.1. Расчет формоизменения для уширительной клетки № 1

Параметр	Номер прохода							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$h_0, мм$	140	125	110	100	90	81	72	63
$b_0, мм$	1900	1903,9	1908,3	1910,9	1544,3	1547,1	1550,2	1553,7
$l_0, мм$	1000	1117,7	1267,2	1391,9	1544,3	1712,7	1922,9	2192,6
$S_0, м$	266	237,9	209,9	191,1	138,9	125,3	111,6	97,9
$h_1, мм$	125	110	100	90	81	72	63	55
$b_1, мм$	1903,9	1908,3	1910,9	1913,9	1547,1	1550,2	1553,7	1557,1
$l_1, мм$	1117,7	1267,2	1391,9	1544,3	1712,7	1922,9	2192,6	2506,1
$S_1, м$	237,9	209,9	191,1	138,9	125,3	111,6	97,9	85,6
$\Delta h, мм$	15	15	10	10	9	9	9	8
$\varepsilon, \%$	10,71	12,00	9,09	10,00	10,00	11,11	12,50	12,70
$\Delta b, мм$	3,89	4,36	2,70	2,97	2,81	3,13	3,52	3,37
$\lambda$	1,11	1,13	1,10	1,11	1,11	1,12	1,14	1,14

Продолжение таблицы 4.1.1

Параметр	Номер прохода				
	9	10	11	12	13
$h_0, мм$	55	47	41	35	30
$b_0, мм$	1557,1	1560,9	1563,9	1567,2	1570,2
$l_0, мм$	2506,1	2925,4	3347,3	3912,7	4556,1
$S_0, м$	85,6	73,4	64,1	54,9	47,1
$h_1, мм$	47	41	35	30	25
$b_1, мм$	1560,9	1563,9	1567,2	1570,2	1573,7
$l_1, мм$	2925,4	3347,3	3912,7	4556,1	5455,2
$S_1, м$	73,4	64,1	54,9	47,1	39,3
$\Delta h, мм$	8	6	6	5	5
$\varepsilon, \%$	14,55	12,77	14,63	14,29	16,67
$\Delta b, мм$	3,86	2,93	3,36	3,00	3,50
$\lambda$	1,17	1,14	1,17	1,16	1,20

Таблица 4.1.2. Расчет формоизменения для универсальной клетки № 2

Параметр	Номер прохода		
	14	15	16
$h_0, мм$	25	21	18
$b_0, мм$	1573,7	1576,1	1577,9
$l_0, мм$	5455,2	6484,3	7556,2
$S_0, м$	39,3	33,1	28,4
$h_1, мм$	21	18	15
$b_1, мм$	1576,1	1577,9	1580,1
$l_1, мм$	6484,3	7556,2	9055,1
$S_1, м$	33,1	28,4	23,7
$\Delta h, мм$	4	3	3
$\varepsilon, \%$	16,00	14,29	16,67
$\Delta b, мм$	2,39	1,85	2,16
$\lambda$	1,19	1,17	1,20



Таблица 4.1.3. Расчет формоизменения чистой непрерывной группы клеток 1700

Параметр	Номер прохода					
	17	18	19	20	21	22
$h_0, мм$	15,00	11,50	8,20	6,60	5,30	4,40
$b_0, мм$	1580,1	1583,8	1588,3	1590,4	1592,3	1593,6
$l_0, мм$	9055,1	11783,3	16479,4	20447,4	25432,4	30608,2
$S_0, м$	23,7	18,2	13,1	10,5	8,44	7,01
$h_1, мм$	11,50	8,20	6,60	5,30	4,40	4,00
$b_1, мм$	1583,8	1588,3	1590,4	1592,3	1593,6	1594,1
$l_1, мм$	11783,3	16479,4	20447,4	25432,4	30608,2	33658,7
$S_1, м$	18,2	13,1	10,5	8,44	7,01	6,37
$\Delta h, мм$	3,50	3,30	1,60	1,30	0,9	0,4
$\varepsilon, \%$	23,33	28,70	19,51	19,70	16,98	9,09
$\Delta b, мм$	3,70	4,42	2,09	1,91	1,37	0,49
$\lambda$	1,30	1,40	1,24	1,24	1,20	1,10

#### 4.2 Расчет температурных режимов процесса

Температура нагрева –  $1210^{\circ}\text{C}$ .

Найдем периметр поперечного сечения полосы на входе

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

$$P = (140 + 700) \cdot 2 = 1680 \text{ мм}$$

Найдем площадь поперечного сечения полосы на входе

$$\omega = h_0 \cdot b_0$$

$$\omega = 140 \cdot 700 = 98000 \text{ мм}^2$$

Расстояние движения полосы:

$$l = 42 \text{ м}$$

Скорость движения полосы:

$$V_n = 2 \text{ м/с}$$

Время движения полосы:

$$\tau = \frac{l}{V_n}$$

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

Температура полосы на входе в первой уширительной клетки:

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

где  $P$  – периметр поперечного сечения полосы на входе;

$\tau$  – время движения полосы;

$\omega$  – площадь поперечного сечения полосы на входе;

$t_n$  – температура нагрева.

$$t_{ex} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{0,0255 \cdot 1680 \cdot 21}{98000} + \left(\frac{1000}{1210 + 273}\right)^3}} - 273 = 1195,49^{\circ}\text{C}$$

Деформационный разогрев:

$$\Delta t_0 = 0,85$$

Температура полосы на выходе из первого прохода:

$$t_{\text{вых}} = 1195,49 + 0,85 = 1196,34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Остальные проходы рассчитываются аналогично. Результаты расчетов занесены в таблицы 4.2.1 – 4.2.3

Таблица 4.2.1. Расчет температурных режимов процесса для уширительной клетки № 1

Номер прохода	Параметр							
	$H, \text{мм}$	$\omega, \text{мм}$	$l, \text{м}$	$V_n, \text{м/с}$	$\tau, \text{сек}$	$t_{\text{ex}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$\Delta t, \text{ } ^\circ\text{C}$	$t_{\text{вых}}, \text{ } ^\circ\text{C}$
1	1680,0	98000	42	2	21	1995,5	0,85	1196,3
2	4057,7	237986	1,12	1,65	10,68	1189,2	1,02	1190,2
3	4036,5	209907	1,27	1,65	10,77	1182,2	0,72	1182,9
4	4021,9	191094	1,39	1,65	10,84	1174,3	0,84	1175,2
5	3268,5	138982	1,54	1,65	10,94	1165,7	0,86	1166,5
6	3256,1	125311	1,71	1,65	11,04	1156,2	1,03	1157,2
7	3244,4	111613	1,92	1,65	11,17	1145,8	1,26	1147,2
8	3233,4	97883,4	2,19	1,65	11,33	1134,4	1,34	1135,8
9	3224,2	85639,1	2,51	1,65	11,52	1121,5	1,69	1123,2
10	3215,8	73363,8	2,93	1,65	11,77	1106,9	1,48	1108,4
11	3209,7	64118,5	3,35	1,65	12,03	1090,3	1,89	1092,2
12	3204,5	54853,1	3,91	1,65	12,37	1071,5	1,94	1073,5
13	3200,5	47106,7	4,56	1,65	12,76	1050,1	2,58	1052,6

Таблица 4.2.2. Расчет температурных режимов процесса для универсальной клетки №2

Номер прохода	Параметр							
	$\Pi, мм$	$\omega, мм$	$l, м$	$V_n, м/с$	$\tau, сек$	$t_{ex}, ^\circ C$	$\Delta t, ^\circ C$	$t_{вых}, ^\circ C$
14	3197,4	39343,1	37,8	1,75	21,59	1009,5	2,64	1012,2
15	3194,2	33098,4	6,48	1,75	13,71	980,5	2,45	982,9
16	3191,9	28403,4	7,56	1,75	14,32	948,4	3,33	951,8

Таблица 4.2.3. Расчет температурных режимов процесса для чистовой непрерывной группы клеток 1700

Номер прохода	Параметр							
	$\Pi, мм$	$\omega, мм$	$l, м$	$V_n, м/с$	$\tau, сек$	$t_{ex}, ^\circ C$	$\Delta t, ^\circ C$	$t_{вых}, ^\circ C$
17	3190,3	23701,9	38,17	3,25	11,74	1116,1	4,16	1120,3
18	3190,6	18214,1	18,00	4,55	3,96	1094,8	6,39	1101,2
19	3192,9	13023,7	18,00	5,65	3,19	1072,3	4,06	1076,4
20	3193,9	10496,3	18,00	7,02	2,56	1051,3	4,54	1055,8
21	3195,1	8438,9	18,00	8,45	2,13	1030,9	4,04	1034,9
22	3196,1	7011,9	18,00	9,29	1,94	1009,9	1,83	1011,7

### 4.3 Расчет скоростных режимов

Зададим обороты вала двигателя для уширительной клетки №1:

$$n_{\text{дв}} = 3 \text{ об/мин}$$

Определим частоту вращения вала:

$$n_{\text{в}} = \frac{30 \cdot n_{\text{дв}}}{\pi}$$
$$n_{\text{в}} = \frac{30 \cdot 3}{\pi} = 28,67 \text{ об/мин}$$

Определим скорость на выходе:

$$V_1 = \frac{n_{\text{в}} \cdot \pi \cdot R}{30 \cdot 1000}$$
$$V_1 = \frac{28,67 \cdot \pi \cdot 550}{30 \cdot 1000} = 1,65 \text{ м/с}$$

Зададим обороты вала двигателя для универсальной клетки №2:

$$n_{\text{дв}} = 5 \text{ об/мин}$$

Определим частоту вращения вала:

$$n_{\text{в}} = \frac{30 \cdot n_{\text{дв}}}{\pi}$$
$$n_{\text{в}} = \frac{30 \cdot 5}{\pi} = 47,75 \text{ об/мин}$$

Определим скорость на выходе:

$$V_1 = \frac{n_{\text{в}} \cdot \pi \cdot R}{30 \cdot 1000}$$
$$V_1 = \frac{47,75 \cdot \pi \cdot 550}{30 \cdot 1000} = 2,75 \text{ м/с}$$

Зададим скорость полосы на входе для чистовой непрерывной группы клеток 1700:

$$V_0 = 2,5 \text{ м/с};$$

Определим скорость на выходе:

$$V_1 = V_0 \cdot \lambda;$$
$$V_1 = 2,50 \cdot 1,30 = 3,25 \text{ м/с};$$

Определим частоту вращения вала:

$$n_{\epsilon} = \frac{30 \cdot V_1 \cdot 1000}{\pi \cdot R}$$

$$n_{\epsilon} = \frac{30 \cdot 3,25 \cdot 1000}{\pi \cdot 550} = 56,45 \text{ об/мин}$$

Определим обороты вала двигателя:

$$n_{\text{об}} = \frac{\pi \cdot n_{\epsilon}}{30};$$

$$n_{\text{об}} = \frac{\pi \cdot 56,45}{30} = 5,92 \text{ об/мин}$$

Остальные проходы рассчитываются аналогично. Результаты расчетов занесены в таблицу 4.3.1

Таблица 4.3.1. Расчет скоростных параметров для чистовой непрерывной группы клеток 1700.

Проходы	Параметры			
	$V_0, м / с$	$V_1, м / с$	$n_{\epsilon}, об / мин$	$n_{\text{об}}, об / мин$
17	2,50	3,25	56,45	5,92
18	3,25	4,55	78,99	8,27
19	4,55	5,65	98,12	10,27
20	5,65	7,02	121,89	12,76
21	7,02	8,45	146,71	15,36
22	8,45	9,29	161,31	16,89

#### 4.4 Расчет условий захвата:

Коэффициент трения определяем по формуле:

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

где  $k_1$  – коэффициент, учитывающий материал и состояние поверхности валков;

$k_2$  – коэффициент, учитывающий скорость прокатки;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий химический состав обрабатываемого материала;

$k_4$  – коэффициент, учитывающий формы заготовки калибра;

$t$  – температура полосы;

$$f = 0,90 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (0,55 - 0,00024 \cdot 1195,46) = 0,24$$

Найдем угол захвата полосы

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

$$\alpha_0 = \arccos\left(1 - \frac{15}{1100}\right) = 0,165 \cdot \frac{180}{\pi} = 9,45^\circ$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,167$$

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

$0,167 \leq 0,24$  – условие выполнено, захват произойдет.

Результаты расчетов занесены в таблицы 4.4.1 – 4.4.3

Таблица 4.4.1. Расчет условий захвата для уширительной клетки № 1

Номер прохода	Параметр		
	$tg\alpha$	$f$	Произойдет захват полосы
1	0,17	0,24	Да
2	0,17	0,24	Да
3	0,14	0,24	Да
4	0,14	0,24	Да
5	0,13	0,24	Да
6	0,13	0,25	Да
7	0,13	0,25	Да
8	0,12	0,25	Да
9	0,12	0,25	Да
10	0,10	0,25	Да
11	0,10	0,26	Да
12	0,10	0,26	Да
13	0,10	0,27	Да



Таблица 4.4.2. Расчет условий захвата для универсальной клетки №2

Номер прохода	Параметр		
	$tg\alpha$	$f$	Произойдет захват полосы
14	0,11	0,28	Да
15	0,09	0,28	Да
16	0,09	0,29	Да

Таблица 4.3.3. Расчет условий захвата для чистовой непрерывной группы  
клетей 1700

Номер прохода	Параметр		
	$tg\alpha$	$f$	Произойдет захват полосы
17	0,09	0,25	Да
18	0,09	0,26	Да
19	0,06	0,26	Да
20	0,05	0,27	Да
21	0,04	0,27	Да
22	0,03	0,28	Да

#### 4.5. Расчет энергосиловых параметров: [12]

Рассчитаем среднюю степень деформации:

$$\varepsilon = 1 - \frac{h_1}{h_0},$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{125}{140} = 0,11;$$

Найдем среднюю скорость деформации:

$$U_c = 0,105 \cdot n_\varepsilon \cdot \sqrt{\varepsilon \cdot \frac{R_\varepsilon}{h_0}},$$

где  $n_\varepsilon$  – частота вращения валка;

$\varepsilon$  – средняя степень деформации;

$R_\varepsilon$  – радиус бочки валка;

$h_0$  – высота полосы до входа.

$$U_c = 0,105 \cdot 28,67 \cdot \sqrt{0,11 \cdot \frac{550}{140}} = 1,95;$$

Определим конечную логарифмическую степень деформации:

$$\varepsilon_l = \ln \frac{h_0}{h_1},$$

$$\varepsilon_l = \ln \frac{140}{125} = 0,11$$

Среднее сопротивление деформации:

$$\sigma_{sc} = A^{-m_1 \cdot \varepsilon} \cdot \varepsilon^{m_2} \cdot u^{m_3},$$

где  $A, m_1, m_2, m_3$  – постоянные коэффициенты зависящие от материала

$A$  – 1300 МПа

$m_1$  – 0,0025

$m_2$  – 0,252

$m_3$  – 0,143

$$\sigma_{sc} = 1300^{-0,0025 \cdot 1100} \cdot 0,11^{0,252} \cdot 1,95^{0,143} = 41,97 \text{ МПа}$$

Длина очага деформации:

$$l = \sqrt{(h_0 - h_1) \cdot R_g}$$
$$l = \sqrt{(140 - 125) \cdot 550} = 90,83 \text{ мм}$$

Средняя высота в очаге деформации:

$$h_c = \frac{h_0 + h_1}{2}$$
$$h_c = \frac{140 + 125}{2} = 132,5 \text{ мм}$$

Определим фактор формы:

$$m = \frac{l}{h_c}$$
$$m = \frac{90,83}{132,5} = 0,69$$

Определим коэффициент напряженного состояния:

$$n_\sigma = 0,5 \cdot \left( m + \left( \frac{1}{m} \right) \right)$$
$$n_\sigma = 0,5 \cdot \left( 0,69 + \left( \frac{1}{0,69} \right) \right) = 1,07$$

Среднее удельное давление:

$$p_c = n_\sigma \cdot \sigma_{sc}$$
$$p_c = 1,07 \cdot 41,97 = 45,00 \text{ Мпа}$$

Горизонтальная проекция площади контакта полосы с валками:

$$F_r = \frac{b_0 + b_1}{2} \cdot \sqrt{(h_0 + h_1) \cdot R_g}$$
$$F_r = \frac{1900 + 1903,89}{2} \cdot \sqrt{(140 + 125) \cdot 550} = 726110,2 \text{ мм}^2$$

Определим усилие прокатки:

$$P = \frac{p_c \cdot F_r}{1000}$$

$$P = \frac{45,00 \cdot 726110,2}{1000} = 32677,2 \text{ кН}$$

Момент на валах:

$$M_{\epsilon} = 2P\psi l,$$

где  $\psi$  – коэффициент плеча

$$M_{\epsilon} = 2 \cdot 3677,2589,9 \cdot 0,5 \cdot 90,83 = 2963,5 \text{ кН/м}$$

Момент трения в подшипниках валков:

$$M_{mp} = \frac{P\mu R_{on}}{1000},$$

где  $P$  – усилие прокатки;

$\mu$  – коэффициент трения в подшипниках валков равный 0,015;

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

$$M_{mp} = \frac{32677,2 \cdot 0,015 \cdot 700}{1000} = 343,1 \text{ кН/м}$$

Крутящий момент на валу электродвигателя:

$$M_{\text{дв}} = \frac{M_{\epsilon} + M_{mp}}{i_p \cdot \eta} + M_{xx},$$

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

$\eta$  – КПД ( $\eta = 0,95$ );

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

$$M_{\text{дв}} = \frac{2963,5 + 343,1}{4,82 \cdot 0,95} + 0,1 = 722,2 \text{ кН/м}$$

Мощность на валу электродвигателя:

$$N_{\text{дв}} = M_{\text{дв}} \cdot n_{\text{дв}},$$

где  $n_{\text{дв}}$  – обороты вала двигателя

$$N_{\text{дв}} = 722,2 \cdot 2,95 = 2167,00 \text{ кВт.}$$

Остальные проходы рассчитываются аналогично. Результаты расчетов занесены в таблицы 4.5.1 – 4.5.3

Таблица 4.5.1. Расчет энергосиловых параметров для уширительной клетки № 1

Параметр	Номер прохода							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\varepsilon, \%$	0,11	0,12	0,09	0,10	0,10	0,11	0,13	0,13
$U_c$	1,95	2,19	2,03	2,23	2,35	2,61	2,94	3,17
$\varepsilon_l$	0,11	0,13	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14
$\sigma_{sc}, МПа$	41,97	44,59	41,86	44,33	45,64	48,72	52,37	54,69
$l, мм$	90,83	90,83	74,16	74,16	70,36	70,36	70,36	66,33
$h_c$	132,5	117,5	105,0	95,0	85,5	76,5	67,5	59,0
$m$	0,69	0,77	0,71	0,78	0,82	0,92	1,04	1,12
$n_\sigma$	1,07	1,03	1,06	1,03	1,02	1,00	1,00	1,01
$p_c, МПа$	45,00	46,08	44,41	45,70	46,51	48,89	52,42	55,07
$F_r, м^2$	0,726	0,685	0,648	0,618	0,474	0,449	0,422	0,396
$P, кН$	32677	31575	28823	28250	22046	21962	22167	21819
$M_\sigma, кН / м$	2963,5	2862,4	2134,8	2091,6	1548,4	1541,8	1555,2	1442,8
$M_{mp}, кН / м$	343,1	331,5	302,6	296,6	231,5	230,6	232,8	229,1
$M_{\sigma\sigma}, кН / м$	722,2	697,5	532,3	521,6	388,7	387,1	390,5	365,1
$N_{\sigma\sigma}, кВ$	2167,0	2093,1	1597,4	1565,2	1166,5	1161,6	1171,7	1095,7

Продолжение таблицы 4.5.1

Параметр	Номер прохода				
	9	10	11	12	13
$\varepsilon, \%$	0,15	0,13	0,15	0,14	0,17
$U_c$	3,63	3,68	4,22	4,51	5,26
$\varepsilon_l$	0,16	0,14	0,16	0,15	0,18
$\sigma_{sc}, \text{МПа}$	59,59	59,92	65,94	69,36	77,77
$l, \text{мм}$	66,33	57,45	57,45	52,44	52,44
$h_c$	51,00	44,00	38,00	32,50	27,50
$m$	1,30	1,31	1,51	1,61	1,91
$n_\sigma$	1,03	1,04	1,09	1,12	1,22
$p_c, \text{МПа}$	61,66	62,07	71,65	77,45	94,54
$F_r, \text{м}^2$	0,369	0,343	0,320	0,296	0,273
$P, \text{кН}$	22770	21334	22933	22971	25848
$M_e, \text{кН} / \text{м}$	1503,9	1220,9	1310,6	1198,1	1345,1
$M_{mp}, \text{кН} / \text{м}$	239,1	224,1	240,8	241,2	271,4
$M_{\partial e}, \text{кН} / \text{м}$	380,6	315,6	338,8	314,3	353,1
$N_{\partial e}, \text{кВ}$	1142,3	946,9	1016,7	943,3	1059,4

Таблица 4.5.2. Расчет энергосиловых параметров для универсальной клетки №2

Параметр	Номер прохода		
	14	15	16
$\varepsilon, \%$	0,16	0,14	0,17
$U_c$	4,51	4,65	5,42
$\varepsilon_l$	0,17	0,15	0,18
$\sigma_{sc}, МПа$	83,31	87,45	100,69
$l, мм$	37,42	32,40	32,40
$h_c$	23,00	19,50	16,50
$m$	1,63	1,66	1,96
$n_\sigma$	1,12	1,13	1,24
$p_c, МПа$	93,37	98,97	124,5
$F_r, м^2$	0,199	0,184	0,169
$P, кН$	18658	18234	21128
$M_\sigma, кН / м$	693,6	587,3	678,8
$M_{np}, кН / м$	128,8	125,8	145,8
$M_{\sigma\sigma}, кН / м$	179,6	155,7	180,1
$N_{\sigma\sigma}, кВ$	898,1	778,8	900,43

Таблица 4.5.3. Расчет энергосиловых параметров для чистой непрерывной группы клеток 1700

Параметр	Номер прохода					
	17	18	19	20	21	22
$\varepsilon, \%$	0,23	0,29	0,20	0,20	0,17	0,09
$U_c$	7,96	10,09	9,85	11,03	11,43	9,18
$\varepsilon_l$	0,27	0,34	0,22	0,22	0,19	0,10
$\sigma_{sc}, МПа$	76,16	87,52	83,72	89,90	91,60	79,93
$l, мм$	39,69	38,54	26,83	24,19	20,12	13,42
$h_c$	13,25	9,85	7,40	5,95	4,85	4,20
$m$	3,00	3,91	3,63	4,07	4,15	3,19
$n_\sigma$	1,50	1,73	1,66	1,77	1,79	1,55
$p_c, МПа$	114,2	151,2	138,7	158,8	163,7	123,8
$F_r, м^2$	0,172	0,149	0,129	0,116	0,105	0,97
$P, кН$	19719	22585	17987	18489	17230	12129
$M_\sigma, кН / м$	769,6	846,2	474,5	438,5	340,8	161,6
$M_{mp}, кН / м$	162,7	186,3	148,4	152,5	142,2	100,1
$M_{\sigma\sigma}, кН / м$	183,8	203,5	122,8	116,5	95,21	51,59
$N_{\sigma\sigma}, кВ$	1328,6	2057,6	1539,7	1817,5	1787,1	1064,8



## 5. РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ГОТОВОГО ПРОКАТА

Конкуренция на рынке требует от производителей ужесточения требований к свойствам горячекатаной продукции, которые определяются поперечным профилем и состоянием поверхности готового проката. На сегодняшний день уровень развития прокатного производства очень высок, основные производители металлопродукции гарантируют потребителю эти показатели качества. Это достигается путем внедрения автоматизированных систем управления и контроля технологическим процессом.

Одной из главных позиций качества выступает состояние поверхности проката. Поэтому, логично массовое применение контроля качества поверхности необходимо осуществлять на всех переделах производства металлопродукции. Так как, чем глубже передел на котором обнаружены такие несоответствия, тем выше потери от брака. Благодаря этому исключается поставка продукции не соответствующей требованиям потребителя.

Продукции станов горячей прокатки свойственно наличие поверхностных дефектов, которые не всегда возможно точно идентифицировать по внешним признакам. Для обнаружения и изучения дефектов поверхности листовой стали используют визуальные методы, такие как внешний осмотр без или с применением специальных систем. Однако, скорость полосы, её температура и окисление поверхности затрудняют проведение осмотра. По этой причине, рулоны на предмет наличия дефектов проверяются, как правило, после остывания. Вследствие чего увеличивается объем несоответствующей продукции, особенно когда дефект имеет прокатное происхождение (например, периодический отпечаток от рабочего вала).

Существенный прорыв в разработке и внедрении систем автоматического контроля поверхности произошел благодаря созданию высокопроизводительных компьютеров и цифровых видеокамер высокого разрешения, позволивших получать и обрабатывать изображение поверхности движущейся полосы в реальном режиме времени. Тогда и получили развитие два направления систем, основанных на получении первичного изображения от строчных видеокамер, регистрирующие изображение поверхности с разверткой строки за строкой, и матричных, фиксирующих изображение площади поверхности [13]

Рассмотрим контроль качества поверхности листового проката на примере непрерывного стана горячей прокатки 2000 ОАО «НЛМК», на котором впервые в отечественной практике была смонтирована система, которая обеспечивает 100% контроль поверхности проката (верхней и нижней стороны), автоматически обнаруживает и классифицирует дефекты полосы в режиме реального времени.

Система контроля качества поверхности (СККП) включает в себя две цифровые строчные видеокамеры для съемки верхней и нижней поверхности полосы, блок освещения верхней и нижней поверхностей полосы, компьютерное оборудование (рисунок 5.1). Разрешающая способность цифровых видеокамер составляет 0,5...1,0 мм по ширине и длине полосы соответственно, что и определяет минимальный размер фиксируемого поверхностного дефекта. Графическое изображение верхней и нижней поверхностей полосы принимается видеокамерами и передается в компьютерную часть системы. Обработка изображения дефектов поверхности происходит в четыре основных этапа – предварительная корректировка изображения, определение, сегментация и классификация. [14]

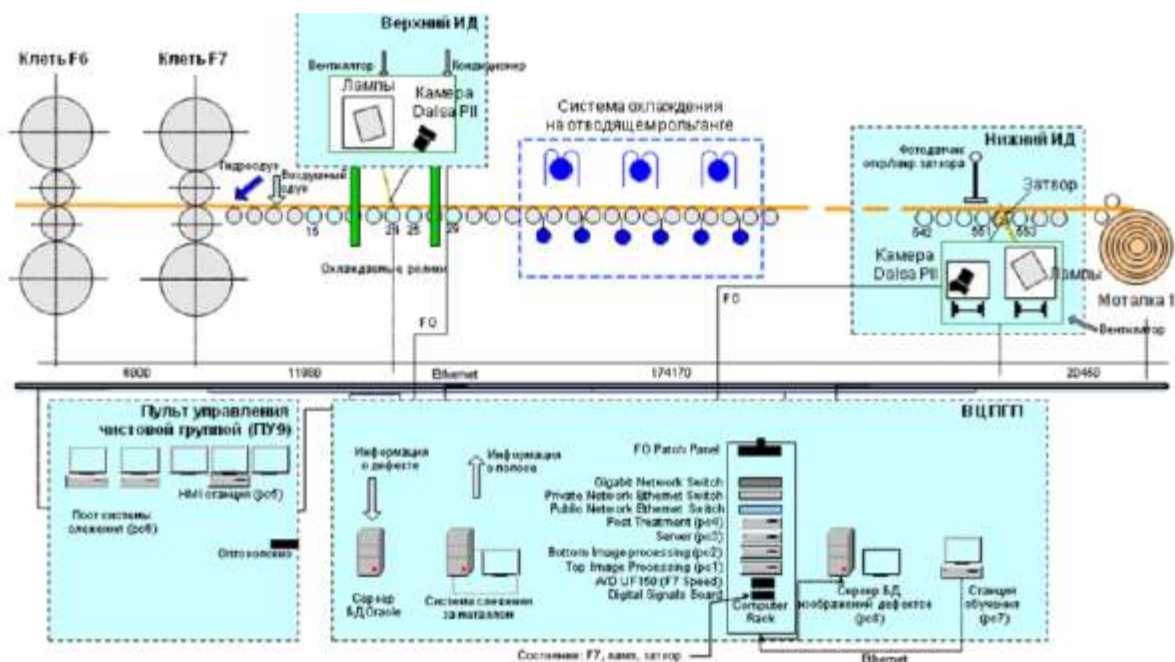


Рисунок 5.1. Размещение оборудования СКП

Получив от видеокамер первичное изображение поверхности, система корректирует общий фон, который должен быть всегда постоянным по времени для правильной классификации дефектов. К полученному изображению применяются параллельно несколько алгоритмов определения дефектов (для вертикального, горизонтального и диагонального контраста, тонких и протяженных, темных или светлых дефектов). Затем, происходит морфологическое группирование полученных признаков для получения информации, требуемой на этапе классификации.

Для классификации дефектов в данной системе контроля качества поверхности реализован метод, основанный на методе классификационных сфер. В основе метода сравнение найденных недостатков поверхности с образцами дефектов из существующей базы данных, на которой основана классификация. Для автоматической классификации дефекта требуется иметь в базе данных не менее 20...40 образцов аналогичных дефектов.

После классификации изображения и результаты обработки передаются на пост управления, информируя оператора стана о состоянии

поверхности проката, а также записываются в базу данных для последующего анализа качества проката.

Мероприятия по настройке системы контроля качества поверхности для получения максимума определения поверхностных дефектов состояли из четырех этапов:

- разбиение сортамента сталей, прокатываемых на стане, на группы по внешнему виду поверхности проката;
- снижение количества воды на верхней поверхности проката;
- определение в системе пороговых значений контрастности определения дефектов для групп, выделенных в сортаменте сталей;
- создание классификационных файлов.

Так как поверхности стальных полос отличны по внешнему виду (например, марки трансформаторной стали имеют, в основном, однородную серую поверхность, а динамной и углеродистой более темную и неоднородную), то после непродолжительной эксплуатации системы весь сортament стана 2000 был разделен на 5 групп по внешнему виду поверхности [14]

Для каждой группы были определены пороговые значения контрастности и построены классификационные сферы.

Еще одной проблемой для определения поверхностных дефектов на верхней стороне проката явилось наличие на ней капель воды, а также присутствие водяных брызг и пара между полосой и верхней видеокамерой.

Для удаления воды была изменена конструкция водяного охлаждения роликов рольганга, смонтированных в зоне измерительных домиков, и дополнительно к штатному гидросдуву установлены еще два. Один гидросдув предназначенный для удаления водяных капель с поверхности широких полос, другой для проката менее 1200 мм.

Следующий этап – обучение системы для автоматической классификации дефектов. И хотя для этого возможно было использование

базы знаний стандартных изображений дефектов, полученных на разных металлургических предприятиях, этап настройки СККП на автоматическую классификацию осуществлялся в ручном режиме.

Осмотр рулонов, содержащих дефекты неизвестного типа, осуществлялся на агрегатах резки и линиях подготовки горячекатаных рулонов. Здесь проводилась идентификация дефектов экспертами УТК, их документирование и цифровое фотографирование. При необходимости проводился комплекс металлографических исследований.

После накопления определенного опыта работы с изображениями дефектов, получаемых из системы, стало возможным производить обучение системы без проведения трудоемкого визуального осмотра рулонов или прибегать к нему в исключительных случаях. Этому способствовал разработанный Липецким государственным техническим университетом каталог цифровых изображений дефектов. Основой этого каталога стала накапливаемая база знаний СККП и цифровые изображения дефектов, обнаруженных в результате визуального осмотра и идентификации поверхностных дефектов горячего проката.

Анализ полученных результатов показал, что основными дефектами поверхности горячекатаных полос являются плены (слиточные и строчечные), а также раковины и вкат.

После проведения гарантийных испытаний работы по идентификации дефектов горячекатаного проката и расширению базы знаний СККП были продолжены. В течение года в базу знаний было добавлено свыше 10 тысяч изображений дефектов. Среди них изображения плен (слиточных и строчечных), окалины, вкатов, трещин (продольных и поперечных), риск, отпечатков, складок, рванин краевых, воды и других дефектов, выявленных на поверхности горячего проката.

Высокий процент обнаружения и классификации поверхностных дефектов на горячем прокате, сформированный объем базы знаний и

каталога цифровых изображений дефектов создали объективную основу для реализации задач, связанных с использованием результатов, полученных от СККП. В ЛГТУ было разработано программное обеспечение, выполненное в виде отдельных приложений.

Функционирование приложений основано на понятии «критичность» дефекта.

Для стана горячей прокатки критичными являются периодические дефекты – отпечатки. Алгоритм для анализа отпечатков основан на сравнении координат по длине полосы (с учетом вытяжки металла) повторяющихся дефектов одного класса с одинаковыми координатами по ширине. При их совпадении выдается периодическая последовательность из дефектов с конкретным значением периода и возможная причина их формирования. Приложение внедрено на посту управления чистовой группой стана 2000 (рисунок 5.2) и информирует оператора об обнаружении критических дефектов для принятия решения о целесообразности остановки стана и устранения причины их образования. Эта информация также используется при аттестации горячекатаного проката.



Рисунок 5.2. Визуализация приложения обработки периодических дефектов

Приложения визуализации дефектов поверхности горячекатаных полос с привязкой к идентификатору рулона предназначены для сертификации горячекатаных рулонов (рисунок 5.3) анализа возникновения дефектов в зависимости от плавки, партии, марки металла, режимов его прокатки и т.д. (рисунок 5.4).

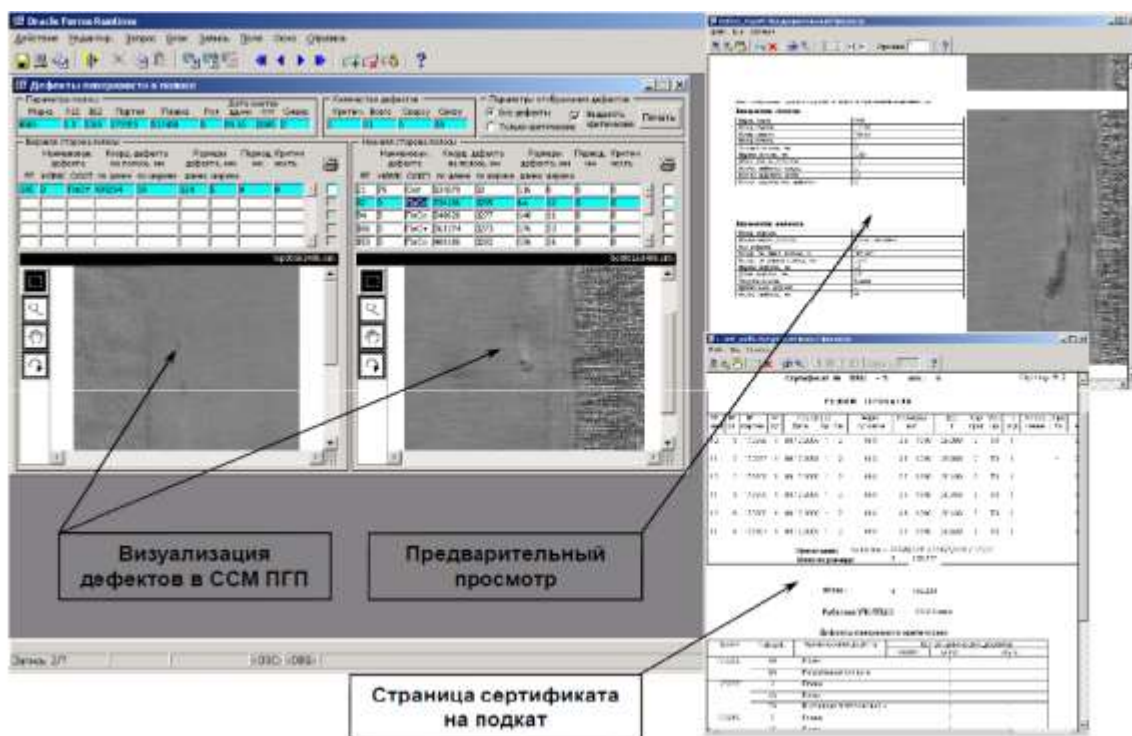


Рисунок 5.3. Визуализация приложения для сертификации горячекатаных рулонов

Алгоритмы, реализованные в приложениях, позволяет осуществлять анализ формирования поверхностных дефектов в режиме on-line для полос, прокатываемых на стане 2000, и в режиме off-line по архивным данным прокатанных полос. Это позволяет своевременно выявлять закономерности распределения дефектов, находить причины возникновения, предлагать меры по их устранению, тем самым уменьшить потери от брака и несоответствующей продукции.

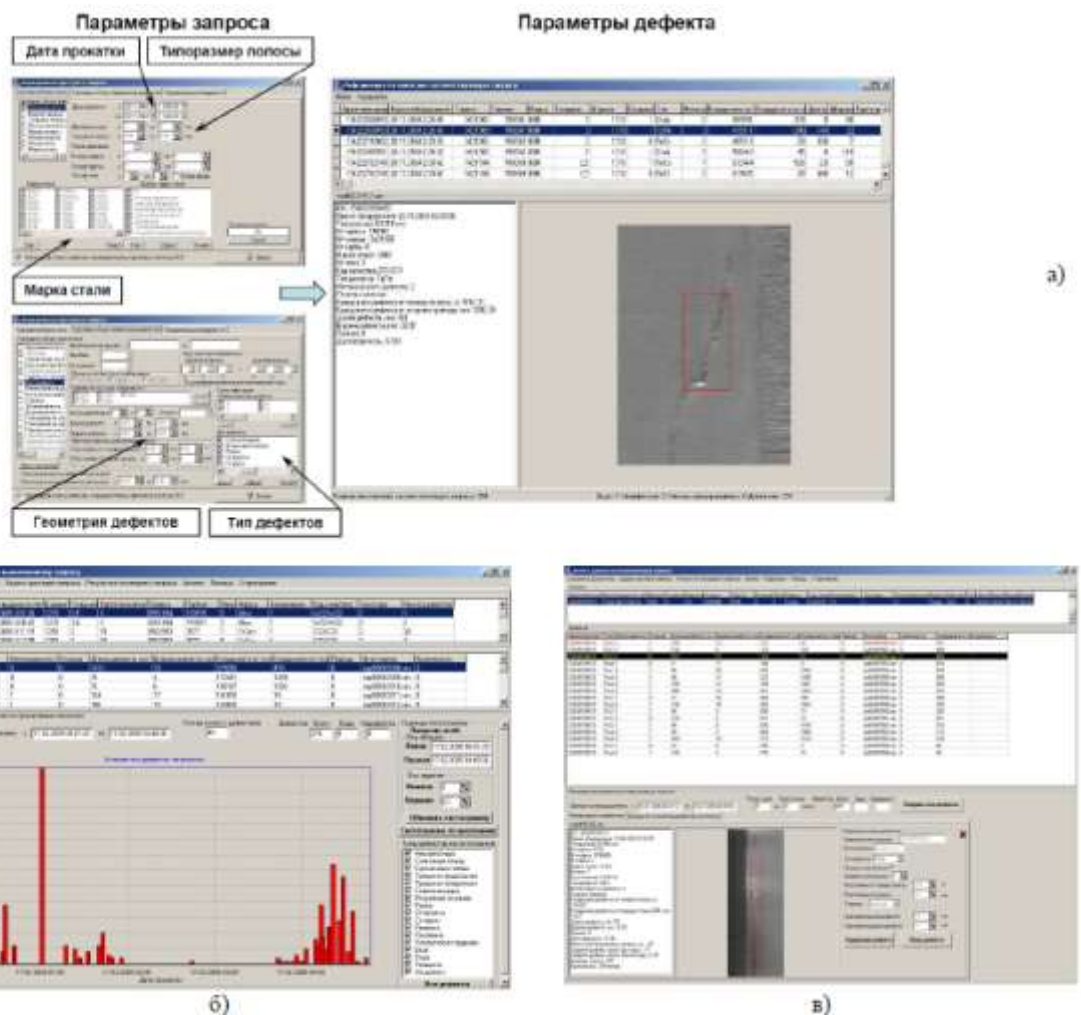


Рисунок 5.4. Приложение визуализации и анализа возникновения дефектов поверхности. Примеры: а) формирование запроса; б), в) результаты обработки запросов

Рассмотренные пользовательские приложения установлены на рабочие станции технологов различных служб, включенных в информационную сеть комбината. В их числе инженерный центр, кислородно-конверторные цеха, листопрокатные производства, структуры сбыта и другие подразделения.

Диагностирование дефектов поверхности в прокатном производстве является сложным и многофакторным процессом. Опыт внедрения системы контроля качества поверхности на непрерывном широкополосном стане горячей прокатки, а также её последующее использование показали, что автоматическое обнаружение и классификация поверхностных дефектов в сквозной технологии производства листового проката позволяет:



- гарантировать обеспечение требований потребителей по качеству поверхности проката с предоставлением электронного паспорта;
- обеспечить 100 % контроль поверхности всех полос, прокатываемых на стане, для выявления дефектов разливки и горячей прокатки;
- обеспечить автоматизированные системы последующих переделов информацией о дефектах поверхности горячего проката;
- осуществлять слежение за качеством поверхности в смежных переделах;
- проводить аудит существующих технологий производства проката и разрабатывать мероприятия по их совершенствованию.

Управление технологией смежных с горячей прокаткой переделов с использованием результатов, полученных системой контроля качества поверхности, открывает хорошие перспективы по сокращению несоответствующей продукции и повышению эффективности производства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы являлось совершенствование процесса прокатки горячекатаного толстолистого проката с целью повышения качества.

В выпускной квалификационной работе были рассмотрены основные тенденции развития станов горячей прокатки, описан технологический процесс и оборудование прокатки на стане 2300/1700 ПАО «ЧМК». Также выбран режим деформации для прокатки листа на стане 2300/1700 и произведен расчет энергосиловых параметров процесса. Рассмотрены основные дефекты горячекатаного листового проката и способы их устранения, а так же разработано предложение по улучшению качества готового проката.

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 профилирующие агрегаты/ В. Г. Антипин, Д. К. Нестеров, В. Г. Кизиев, Э. М. и др. 2-е изд., перераб. и доп. – М., Металлургия, 1992. 428 с
2. Правосудович, В. В. и др. Дефекты стальных слитков и проката: Справ. изд. М.: Интермет Инжиниринг, 2006. 384 с.
3. Дефекты стали: Справ. изд. / Под ред. С. М. Новокщеновой, М. И. Виноград. М.: Металлургия, 1984. 199 с.
4. Мазур В. Л. и др. Предупреждение дефектов листового проката / В. Л. Мазур, А. И. Добронравов, П. П. Чернов. – К. : Техніка, 1986. – 141 с., ил. – Библиогр.: с. 137 – 140.
5. Дефекты и повреждения деталей и конструкций: монография / В.М. Кушнарченко, В.С Репях, Е.Ю. Чирков, Е.В. Кушнарченко; Оренбургский гос. ун-т: - Оренбург: ОГУ, 2011. – 402 с.: ил.
6. И. А. Ковалева. Исследования дефектов горячекатаного проката сортопрокатного цеха № 1 стана 850, имеющих прокатную природу образования, на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» / И. А. Ковалева, Ю. А. Потапенко // Литье и металлургия. 2019. № 2. С. 60–66. DOI: 10.21122/1683-6065- 2019-2-60-66.
7. О.Е. Васин, В.М. Югай, Р.А. Садртдинов, В.А. Подмогаев, В.Б. Гейцан, Н.К. Кареев, А.А. Селиванов. Атлас дефектов. Научно-технический сборник. Екатеринбург, 2008, 56 с.
8. Дефекты стали. Справ. Изд./ Под ред. Новокщеновой С. М., Виноград М. И. – М.: Металлургия, 1984. 199 с.
9. Дефекты металла: Учебное пособие по дисциплине «Материаловедение и ТКМ» для механических специальностей вузов / В.П. Расщупкин, М.С. Корытов. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. – 37 с.

10. Инструкция по эксплуатации механического оборудования полосового стана 2300/1700 Челябинского металлургического завода.

11. Методы проектирования температурных режимов горячей сортовой прокатки: учебное пособие / Ф. С. Дубинский, М. А. Соседкова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 18 с.

12. Ю.В.Коновалов, А.Л.Остапенко, В.И.Пономарёв. Расчёт параметров листовой прокатки: Справочник. Москва, "Металлургия", 1986 г., 430 с.

13. Контроль качества поверхности листового проката И.П. Мазур ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк

14. И.П. Мазур. Проблемы контроля качества поверхности при производстве листового проката // Сталь. 2011. № 4. С. 31-36.