

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(Национальный исследовательский университет)

Факультет «Материаловедение и металлургические технологии»  
Кафедра «Материаловедение и физико-химия материалов»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ (Михайлов Г.Г.)

\_\_\_\_\_ 2019 г.

***Производство профнастила из стали 08КП***

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ–22.03.02.2019.206.ПЗ ВКР

Руководитель работы, (доцент)

\_\_\_\_\_ (И.В. Лапина)

\_\_\_\_\_ 2019 г.

Автор проекта

студент группы ПЗ–547

\_\_\_\_\_ (Р.Н. Мухаметов)

\_\_\_\_\_ 2019 г.

Нормоконтролер, (доцент)

\_\_\_\_\_ (И.В. Лапина)

\_\_\_\_\_ 2019 г.

Челябинск 2019

## АННОТАЦИЯ

Мухаметов Р.Н. Производство профнастила из стали 08кп. – Челябинск: ЮУрГУ, 2019, 52 с., 11 ил., 6 табл., библиогр. список - 9 наим.

Целью дипломной работы является разработка технологического цикла производства профнастила НС-35 из стали 08кп.

Обоснован выбор стали для изготовления листов профнастила, дана общая характеристика используемого материала и его применение, дана технологическая схема изготовления профнастила, выбран режим термообработки, произведен выбор и расчет оборудования.

|                |                       |                 |              |             |  |  |  |                        |               |             |  |  |
|----------------|-----------------------|-----------------|--------------|-------------|--|--|--|------------------------|---------------|-------------|--|--|
|                |                       |                 |              |             | <b>22.03.02.2019.547.000.00ПЗ</b>              |  |  |                        |               |             |  |  |
| <i>Изм</i>     | <i>Лист</i>           | <i>№ докум.</i> | <i>Подп.</i> | <i>Дата</i> | <b>Производство профнастила из стали 08кп.</b> |  |  | <i>Лит.</i>            | <i>Листов</i> | <i>Лист</i> |  |  |
| <i>Разраб.</i> | <i>Мухаметов Р.Н.</i> |                 |              |             |  |  |  | <i>Д</i>               | 59            | 3           |  |  |
| <i>Провер.</i> | <i>Лапина И.В.</i>    |                 |              |             |  |  |  | <b>ЮУрГУ<br/>МиФХМ</b> |               |             |  |  |
| <i>Т.конт.</i> |                       |                 |              |             |  |  |  |                        |               |             |  |  |
| <i>Н.конт.</i> | <i>Лапина И.В.</i>    |                 |              |             |  |  |  |                        |               |             |  |  |
| <i>Утв.</i>    | <i>Михайлов Г.Г.</i>  |                 |              |             |  |  |  |                        |               |             |  |  |

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ   | 5  |
| 1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ                                    | 6  |
| 1.1 Общая характеристика профнастила НС-35                 | 7  |
| 1.2 Выбор материала для профлиста                          | 8  |
| 1.3 Производство стали в конвертерном цехе                 | 8  |
| 1.4 Заготовка сляба на МНЛЗ                                | 13 |
| 1.5 Прокатка на стане 2500                                 | 16 |
| 1.6 Технологический процесс травления                      | 23 |
| 1.7 Холодная прокатка                                      | 25 |
| 1.8 Термическая обработка рулонной стали в колпаковой печи | 26 |
| 1.9 Оцинковка рулонной стали                               | 30 |
| 1.10 Покраска рулонной стали                               | 34 |
| 1.11 Производство профнастила на стане                     | 37 |
| 2 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ  | 41 |
| 2.1 Исходные и справочные данные                           | 41 |
| 2.2 Расчет теплообмена под муфелем                         | 42 |
| 2.3 Расчет температурного поля в рулоне                    | 44 |
| 2.4 Определение количеств печей (стендов) в отделении      | 47 |
| 2.5 Тепловой баланс  | 48 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ   | 51 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК                                   | 52 |

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 4    |

## ВВЕДЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы является разработка технологии изготовления профнастила из рулонной стали.

Готовое изделие должны удовлетворять техническим требованиям, предъявляемым к данной детали. Профнастил широко применяется в строительной отрасли, главным образом в покрытии кровель и фасадов зданий. Надежность, легкий монтаж, долгий срок службы профнастила во многом определяют качество листов и технология их изготовления, которая требует постоянного контроля, начиная от выплавки до конечной холодной прокатки на стане.

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 5    |

# 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Общая характеристика профнастила НС-35.

Профнастил оцинкованный НС-35 широко применяется как в промышленном, так и в гражданском строительстве. Этот профиль отличается очень удачным сочетанием высокой несущей способности со сравнительно небольшим весом и невысокой стоимостью. Профнастил марки НС-35 часто называют кровельным, так как он преимущественно используется для настила кровли с любой площадью и уклоном скатов. Им успешно перекрывают плоские и скатные крыши, благодаря высокой несущей способности (таблица 1), которую придают материалу дополнительные ребра жесткости, расположенные продольно в нижней и верхней части профиля (рисунок 1).

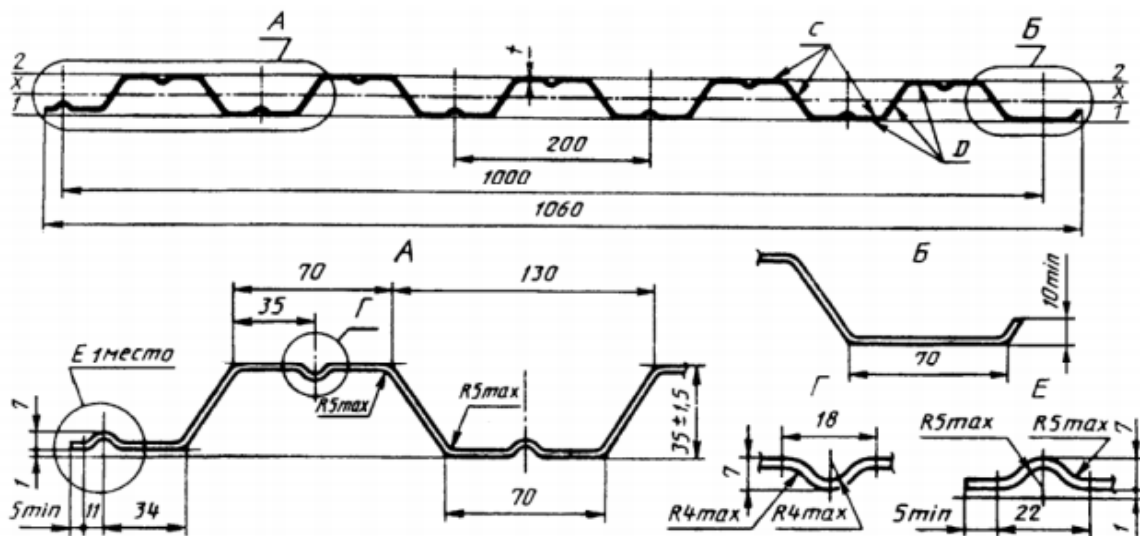


Рисунок 1 – Размеры профиля листа НС-35.

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 6    |

Таблица 1 – Несущие характеристики НС-35 в зависимости от толщины.

| Обозначение профилированного листа | t, мм | Площадь сечения А, см <sup>2</sup> | Масса 1 м длины, кг | Справочные величины на 1 м ширины               |                                       |                 |   |                                       |                 | Масса 1 м <sup>2</sup> , кг | Ширина заготовки, мм |
|------------------------------------|-------|------------------------------------|---------------------|---|---------------------------------------|-----------------|---|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------|
|                                    |       |                                    |                     | при сжатых полках по оси 2-2                    |                                       |                 | при сжатых полках по оси 1-1                    |                                       |                 |                             |                      |
|                                    |       |                                    |                     | момент инерции I <sub>x</sub> , см <sup>4</sup> | момент сопротивления, см <sup>3</sup> |                 | момент инерции I <sub>x</sub> , см <sup>4</sup> | момент сопротивления, см <sup>3</sup> |                 |                             |                      |
|                                    |       |                                    |                     |   | W <sub>x1</sub>                       | W <sub>x2</sub> |   | W <sub>x1</sub>                       | W <sub>x2</sub> |                             |                      |
| НС35-1000-0,6                      | 0,6   | 7,5                                | 6,4                 | 14,92   | 8,56                                  | 8,27            | 15,41   | 9,25                                  | 8,4             | 6,4                         | 1250                 |
| НС35-1000-0,7                      | 0,7   | 8,75                               | 7,4                 | 17,36   | 9,95                                  | 9,58            | 17,87   | 10,73                                 | 9,74            | 7,4                         |                      |
| НС35-1000-0,8                      | 0,8   | 10,0                               | 8,4                 | 19,89   | 11,44                                 | 10,92           | 20,25   | 12,16                                 | 11,04           | 8,4                         |                      |

### 1.2 Выбор материала профлиста.

Профлист НС-35 относится к группе несущих листовых профилей. Изготавливают его по ГОСТ 24045-94 и ТУ 1122-079-02494680-01 из холоднокатаной оцинкованной стали марок 08кп, 01 или 220 по ГОСТ Р 52246-2004.

Оптимальным вариантом является сталь 08кп, конструкционная качественная, раскисленная марганцем, упрочняемая наклёпом при холодной прокатке, которая соответствует требованиям высокой пластичности. Химический состав и критические точки приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Химический состав стали 08 кп.

| С, %      | Si, % | Mn, %    | Ni, % | S, %  | P, %   | Cr, % | As, % |
|-----------|-------|----------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 0,05-0,11 | <0.03 | 0,25-0,5 | <0,25 | <0.04 | <0,035 | <0,1  | <0,08 |

Таблица 3 – Критические точки стали 08кп.

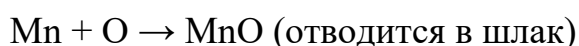
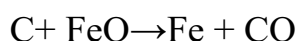
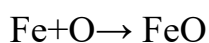
| A <sub>c1</sub> , °C | A <sub>c3</sub> , °C | A <sub>R1</sub> , °C | A <sub>R3</sub> , °C |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 732                  | 874                  | 680                  | 854                  |

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 7    |

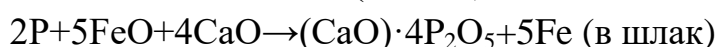
### 1.3 Производство стали в конвертерном цехе.

Конвертерное производство — получение стали в сталеплавильных агрегатах-конвертерах путём продувки жидкого чугуна воздухом или кислородом. Превращение чугуна в сталь происходит благодаря окислению кислородом содержащихся в чугуне примесей (кремния, марганца, углерода и др.) и последующему удалению их из расплава. Выделяющееся в процессе окисления тепло повышает температуру расплава до необходимой для расплавления стали, то есть конвертер не требует топлива для работы. В объёме печи происходят следующие реакции:

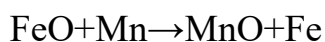
1) Окислительный период



2) Удаление серы и фосфора



3) Раскисление стали



Шихтовые материалы, задаваемые на плавку в конвертер, должны соответствовать требованиям промышленной безопасности и по качеству действующим нормативным документам. Жидкий чугун подается из доменного цеха в чугуновозных ковшах миксерного типа, с минимальным количеством доменного шлака. Передвижные миксеры, поступающие под налив чугуна, должны быть исправными и очищены от настылей металла и шлака. Не допускается наличие в миксеровозах "крыш" и плавающих на поверхности чугуна скардовин. При содержании серы в чугуне выше требований, производится его внепечная десульфурация на установке с верхней продувочной фурмой. Сразу после поступления миксеровоза в отделение перелива из него отбирается проба для определения массовой доли кремния, марганца, серы, фосфора, хрома и немедленно отправляется в лабораторию.

|     |           |          |       |      |                                   |      |
|-----|-----------|----------|-------|------|-----------------------------------|------|
|     |           |          |       |      | <b>22.03.02.2019.547.000.00ПЗ</b> | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Дата |                                   | 8    |

Чугун наливается в заливочный ковш в строго указанном количестве, исходя из заданной шихтовки плавки. Перед началом перелива чугуна из миксера в ковш открывается клапан системы аспирации над ямой, в которую будет переливаться чугун. После перелива чугуна в ковш и поворота миксера в первоначальное положение закрывается клапан системы аспирации. При отсутствии процесса перелива чугуна клапаны системы аспирации находятся в закрытом положении. Перед подачей заливочного ковша к конвертеру производится скачивание шлака с помощью машины скребкового типа до полного его удаления. При большом количестве шлака в заливочном ковше (определяется миксерным визуально) допускается скачивание шлака непосредственно перед заливкой чугуна в конвертер. Скачивание производится путем перелива шлака из заливочного ковша в шлаковую чашу. Температура чугуна в заливочном ковше измеряется термопарой погружения и должна быть не менее 1350 °С.

В качестве металлического лома используют листовую обрезь из цехов холодной прокатки. Расход металлического лома должен составлять до 40% от общей массы, загружаемой в конверторную печь. Металлическая шихта доставляется в совках, загружаемых в копровых цехах.

В качестве шлакообразующего материала используют свежее обожженную известь. Расход извести должен обеспечивать основность конечного шлака не менее 3%. Массовая доля (CaO + MgO) в извести – не менее 94%, в т.ч. MgO не более 8%, серы – не более 0,06%, потери массы при прокаливании не более 5%, реакционная способность – не более 2 мин. Известь поступает в конвертерный цех свежесожженной не позднее 12 часов после обжига. Длительность хранения извести в расходных бункерах конвертерного отделения должна быть не более одних суток. Применение извести-пушенки не допускается. Перед отдачей извести в конвертер производится ее рассев на виброгрохотах. Образующийся при этом отсев извести накапливается в промежуточном бункере. Из промежуточных бункеров при помощи струйных питателей отсев подается в накопительный бункер, откуда перегружается в специально оборудованные автомашины («пыльники») и отправляется в горно-обогащительное производство. Для повышения стойкости футеровки конвертера применяется ожелезненный доломит с массовой долей CaO не менее 58%, MgO не менее 28%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не более 6%, SiO<sub>2</sub> не более 5%, потери массы при прокаливании не более 1% фракции от 5 до 40 мм. Допускается применение других магнийсодержащих материалов при условии сохранения баланса кальция и магния. Химический и ситовый состав извести и

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 9    |



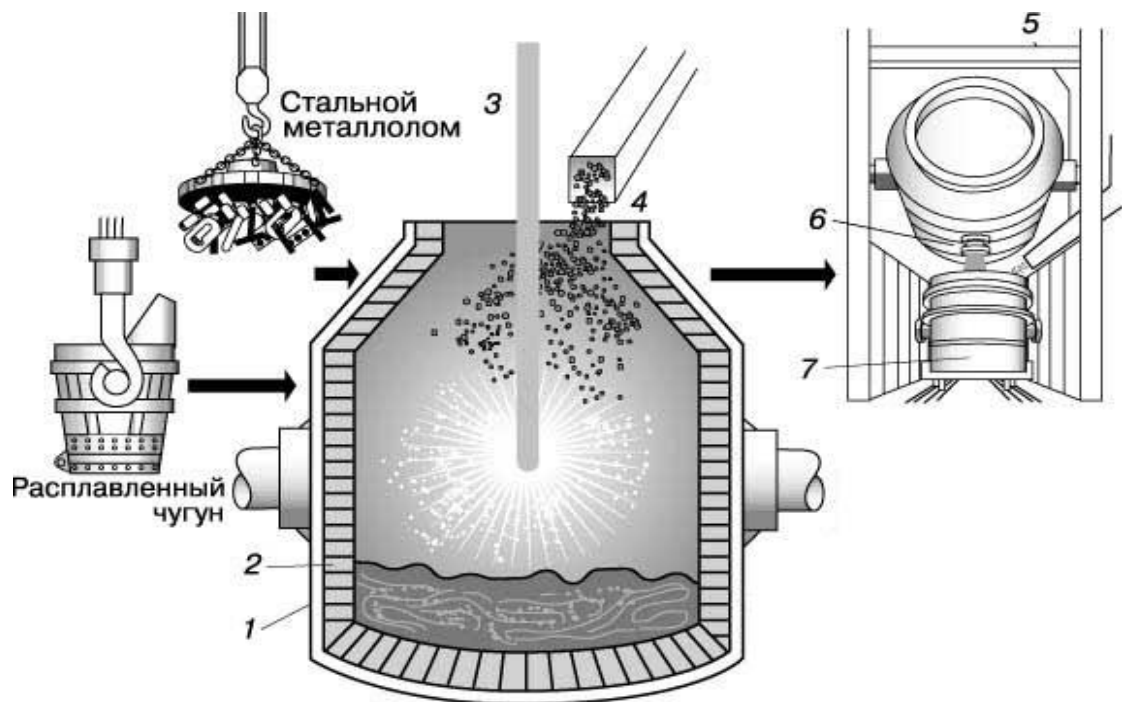
ожелезненного доломита определяется по пробам, отобранным на агрегатах, их производящих. Для ускорения процесса шлакообразования применяются воздушно-сухие плавиковый шпат, плавиковошпатовые концентраты или флюорит-селаитовые концентраты.

В качестве охладителей могут быть использованы известняк, доломит сырой, железорудные окатыши и металлолом. Должны применяться охладители (кроме металлолома) фракции 10–80мм. Массовая доля оксида кремния в железорудных окатышах – не более 8%. Охладители должны быть воздушносухими и не иметь следов видимой влаги. Масса присаживаемых охладителей определяется оператором установки исходя из имеющегося перегрева металла и охлаждающей способности материалов.

Объёмная доля чистого кислорода в техническом кислороде для продувки должна быть не менее 99,5%. Объёмная доля кислорода измеряется с помощью газоанализаторов конвертерных газов и автоматически регистрируется в АСУ ТП конвертерной плавки. Объёмная доля азота в кислороде должна быть не более 0,10%. Давление кислорода в магистрали должно быть от 1,6 до 2,5 МПа.

Конвертеры оборудованы системой очистки конвертерных газов без дожигания окиси углерода в полости конвертера. На рисунке 2 представлен схематичный вид кислородного конвертера и основных операций.

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 10   |



1 - стальной кожух; 2 - огнеупорная футеровка; 3 - кислородная фурма; 4 - завалка флюса; 5 - легирующие добавки; 6 - летка; 7 – ковш.

Рисунок 2 – Кислородный конвертер с верхней продувкой.

Перед началом плавки, после ремонта или длительного простоя конвертера сменный технологический персонал проверяет обслуживаемое им оборудование. После длительного простоя конвертера или подключения в работу новой продувочной фурмы необходимо убедиться в ее исправности путем кратковременного открывания кислорода при опускании фурмы до входа в горловину конвертера. После замены кислородных шлангов и продувочной фурмы необходимо убедиться в отсутствии заметалливания и зашлакования сопел путем визуального осмотра головки. Измерение положения фурмы производят сразу после продувки плавки. Перед первой плавкой и в начале каждой смены проверяется правильность показания сельсина положения фурмы, опуская ее до конечных выключателей. Перед каждой плавкой персонал проверяет правильность показания сельсина положения фурмы по срезу горловины. Осмотр продувочной фурмы осуществляется после продувки плавки, каждую смену перед началом работы и после измерения положения фурмы. После проверки обслуживающим персоналом готовности всех систем, механизмов и оборудования конвертер отдается под плавку. Перед началом каждой плавки осуществляют ее шихтовку (планирование), то есть определяют оптимальные для данных условий количества (расходы) чугуна, лома, шлакообразующих материалов и кислорода, обеспечивающие по окончании

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 11   |

продувки получение металла с заданной массой, температурой и концентрацией углерода, и основности конечного шлака. Суммарная масса чугуна и металлического лома на плавку должна составлять 390-410 т. Соотношение масс чугуна и лома должно обеспечить температуру металла на повалке с отклонением от заданной не более чем на 20 °С. При заведомо горячей шихтовке плавки из-за недостатка лома в качестве дополнительного охладителя применяются железорудные окатыши или известняк (необожженный доломит). Тепловой эквивалент 1 т этих материалов по отношению к металлолому составляет 3,6 и 2,6 т соответственно. Присадка железорудных окатышей производится с первой порцией извести в количестве не более 5 т. Присадки окатышей не должны приводить к захолаживанию плавки и затягиванию обезуглероживания. В случае необходимости допускается присадка окатышей по ходу продувки порциями не более 2 т. Промежуток между присадками порций окатышей должен составлять не менее 1 мин. Все присадки окатышей заканчиваются до израсходования 14 тыс. м<sup>3</sup> кислорода. При использовании железорудных окатышей масса извести увеличивается на 200 кг на 1 т окатышей. Чугун и лом на плавку подаются к конвертеру к окончанию слива металла предыдущей плавки. Металлолом полностью загружается в конвертер до заливки чугуна из одного или двух совков. При необходимости равномерное распределение лома по днищу осуществляется поворотом конвертера в противоположенную от загрузки сторону после завалки каждого совка. Во избежание разрушения футеровки сначала через горловину конвертера загружается совок с легковесным ломом, а затем с тяжеловесным. При загрузке лома одним совком передняя часть совка загружается легковесным ломом. Количество извести и ожелезненного доломита на плавку в зависимости от содержания кремния в чугуне корректируется от утвержденной нормы расхода.

Присадка шлакообразующих материалов производится после завалки лома. Количество шлакообразующих материалов в завалку должно составлять 40–60 % от их общей массы. Заливка чугуна производится после осмотра конвертера при готовности к работе котла-охладителя конвертерных газов, газоочистки, нагнетателя, дожигающего устройства и системы регулирования давления газов под "юбкой", открытой на 70% трубе Вентури и установленном расходе конвертерных газов не более 500 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Скорость заливки чугуна в конвертер регулируется в зависимости от интенсивности газовыделения. При сильном газовыделении и угрозе выброса металла и шлака заливка чугуна должна быть приостановлена, а ковш должен быть отведен от горловины

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 12   |

конвертера. Длительность заливки чугуна должна быть не менее 3 минут. В холодный период года между завалкой лома и заливкой чугуна в конвертер необходимо делать паузу для предварительного прогрева лома и удаления влаги. Перед заливкой чугуна должны быть подготовлены шлаковая чаша, сталеразливочный ковш и машины непрерывной разливки стали. По окончании заливки чугуна конвертер устанавливается в вертикальное положение для продувки.

Выпуск металла рекомендуется производить после получения результатов химического анализа при массовой доле углерода не более 0,06%, фосфора не более 0,02%, серы - не более 0,025 %, других примесей - в пределах состава для заданной марки стали. Выпуск металла в ковш производится только при готовности МНЛЗ. Выпуск металла из конвертера производится через сталевыпускное отверстие диаметром 170–200 мм, обеспечивающее слив металла организованной струей. Продолжительность выпуска должна быть от 5 до 12 минут. Во время выпуска металла исключается попадание в ковш конвертерного шлака. Толщина шлака в ковше не должна превышать 80 мм, а уровень наполнения ковша должен обеспечивать при визуальном контроле процесса выпуска плавки свободное пространство до борта не менее 250 мм. Под выпуск плавки подают “горячие” (с оборотом не более 2 ч.) талеразливочные ковши с основной футеровкой, с двумя исправно работающими пористыми вставками. После выпуска металла шлак сливают в шлаковые чаши через горловину конвертера.

#### 1.4 Заготовка сляба на МНЛЗ

Основной технологической функцией любой МНЛЗ (машины литья непрерывных заготовок) является перевод стали из жидкого состояния в твердое с приданием получаемой заготовке определенной геометрической формы и обеспечением качественных показателей ее поверхности и внутренней структуры, регламентируемых соответствующими техническими условиями. Для достижения твердого состояния заготовки необходимо отвести некоторое количество тепла в окружающую среду в течение определенного времени. Для нормального процесса охлаждения необходимо обеспечить движение заготовки с определенной скоростью при регламентированном отводе тепла (охлаждение водой). Общая схема разливки стали с обозначением основных функциональных узлов и механизмов представлена на рисунке 3.

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 13   |



Рисунок 3 – Общая схема разливки стали на МНЛЗ

Оборудование включает в себя:

- сталеразливочный стенд – предназначен для размещения на нем сталеразливочных ковшей, передачу их из резервного положения в положение разливки и обратно, обеспечения серийной разливки, подъема и опускания ковшей при разливке, а также для непрерывного взвешивания ковшей с металлом;
- тележка промежуточного ковша – служит для удержания его при разливке и перемещения из резервной позиции в рабочую;
- промежуточный ковш – обеспечивает поступление металла в кристаллизатор с определенным расходом хорошо организованной струей, позволяет разливать сталь в несколько кристаллизаторов одновременно и осуществлять серийную разливку методом «плавка на плавку» при смене сталеразливочных ковшей без прекращения и снижения скорости разливки; промежуточный ковш является буферной емкостью, так как с его помощью согласовывается поступление металла из сталеразливочного ковша в кристаллизатор;
- кристаллизатор – предназначен для приема жидкого металла, формирования слитка заданного сечения и первичного его охлаждения (выполняется из меди и охлаждается в процессе разливки водой);
- механизм возвратно-поступательного движения кристаллизатора – создает условия, снижающие вероятность возникновения прорывов корки слитка на

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 14   |

выходе из него, а также обеспечивает полное «залечивание» места разрыва, возникшего при движении слитка в кристаллизаторе;

- зона вторичного охлаждения – позволяет создать оптимальные условия для полного затвердевания непрерывно отливаемого слитка, обеспечивающие равномерное охлаждение заготовки и требуемое качество металла;
- тянуще-правильная машина (ТПМ) – предназначена для вытягивания литой заготовки из кристаллизатора, выпрямления ее на радиальных и криволинейных устройствах и подачи к машине (механизму) для резки; ТПМ обеспечивает подачу затравки в кристаллизатор, удержание ее в кристаллизаторе на время уплотнения зазоров, вытягивание с непрерывнолитой заготовкой из кристаллизатора, отделение головки затравки от заготовки и т.п.;
- машина резки заготовок – обеспечивает разделение непрерывнолитого металла на мерные длины в соответствии с требованиями потребителей;
- затравка – предназначена для образования временного «дна» в кристаллизаторе перед началом разливки и последующего вытягивания со сцепленной заготовкой ТПМ;
- устройство для электромагнитного перемешивания – позволяет повысить качество заготовки.

Процессу непрерывной разливки стали на МНЛЗ обязательно предшествует целый комплекс подготовительных и вспомогательных операций, основными из которых являются:

- футеровка промежуточного ковша, его сушка и подогрев до температуры 900-1100 С°;
- установка промковша в рабочее положение над кристаллизаторами;
- установка затравок и холодильников во внутренней полости кристаллизаторов;
- транспортировка сталеразливочного ковша от установки внепечной обработки к МНЛЗ и установка его на поворотный стенд. Еще раньше проверяется функционирование всех узлов и механизмов, а также КИП и автоматики.

Разливка стали начинается с открытия шиберного затвора сталеразливочного ковша. Подача металла из сталеразливочного в промежуточный ковш осуществляется открытой или закрытой струей через огнеупорную защитную трубу. После заполнения промежуточного ковша металлом на 30-40% его номинальной емкости начинается подача стали в

|     |           |          |       |          |                                   |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|-----------------------------------|------|
|     |           |          |       |          | <b>22.03.02.2019.547.000.00ПЗ</b> | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                                   | 15   |

кристаллизаторы. Регулирование расхода стали, вытекающей из промежуточного ковша в кристаллизатор, может осуществляться посредством литья через калиброванные стаканы-дозаторы при поддержании заданной высоты налива металла в промежуточном ковше, изменением положения головки стопора относительно стакана-дозатора в промежуточном ковше.

Разливка стали осуществляется сериями из нескольких сталеразливочных ковшей (10-25 ковшей и более). При этом замена пустого сталеразливочного ковша на полный осуществляется путем изменения позиции поворотного стенда. Время замены сталеразливочного ковша составляет, как правило, 90-120 с. В это время разливка продолжается в обычном режиме (или с уменьшением скорости движения заготовки) за счет металла, находящегося в промежуточном ковше.

Регулирование скорости разливки (вытяжки заготовки) осуществляется двумя способами: путем регламентирования расхода металла, вытекающего из промежуточного ковша и изменения скорости вытяжки заготовки. Завершение процесса разливки осуществляется прекращением выпуска металла из сталеразливочного, а затем и из промежуточного ковша. При этом в промежуточном ковше остается определенный остаток жидкого металла (высота слоя составляет 200-300 мм), который препятствует попаданию шлака из промежуточного ковша в кристаллизатор. После прекращения подачи металла из промежуточного ковша движение заготовки приостанавливается, что позволяет «застудить» верхнюю часть заготовки с целью предотвращения выливания металла через край. С этой целью с зеркала металла в кристаллизаторе удаляется шлак и на него подается вода. Далее заготовка продолжает свое движение транспортировочному рольгангу.

### 1.5 Прокатка на стане 2500

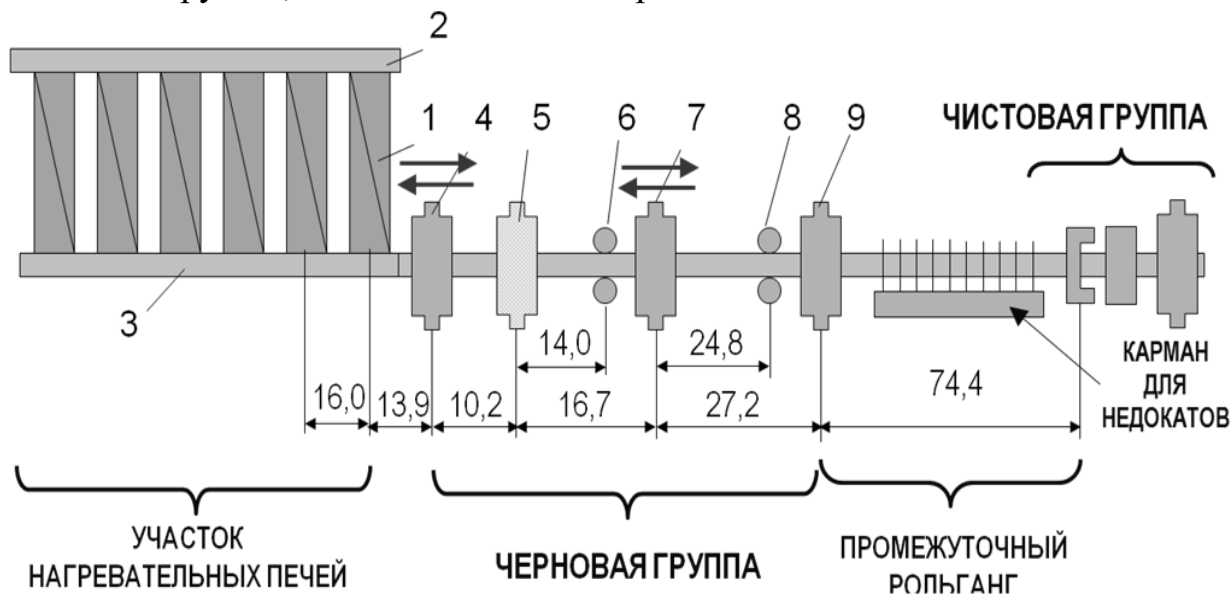
Слябы на участок склада горячих слябов поступают на специальных вагонах – слябовозках. Слябы принимаются поплавочно бригадами склада слябов и контролерами ОКП. Приемка осуществляется согласно сопроводительного сертификата, где указываются следующие данные:

- номер плавки;
- марка стали;
- профиль сляба;
- количество штук;
- вес;

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 16   |

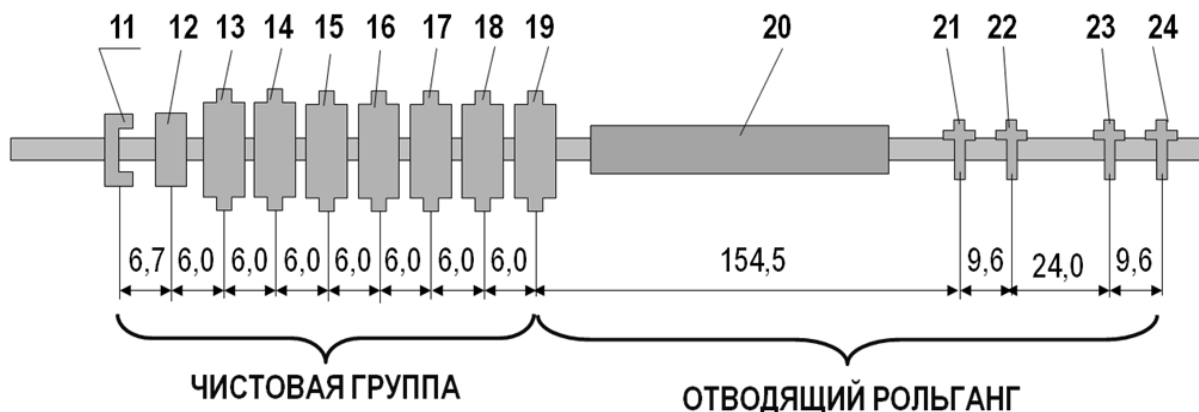
- нормативный документ;
- химический состав;
- примечания.

Принятый металл разгружается на стеллажи склада слябов, либо сразу на передаточные телеги для дальнейшей передачи в печи стана 2500 горячей прокатки. На рисунках 4 и 5 представлены схемы участков черновой и чистовой группы, а так же отводящего рольганга ШСГП 2500.



1 - печи методические; 2 - рольганг перед печами; 3 - рольганг подпечной; 4 - клеть дуо реверсивная; 5 - клеть уширительная кварто; 6 и 7 – вертикальная и горизонтальная кварто реверсивные клетки (клеть реверсивная универсальная кварто); 8 и 9 – вертикальная и горизонтальная кварто клетки (клеть универсальная кварто).

Рисунок 4 – Участок печей и черновая группа ШСГП 2500



11-ножницы летучие; 12-окалиноломатель чистовой; 13-клеть кварто № 5; 14-клеть кварто № 6; 15-клеть кварто № 7; 16-клеть кварто № 8; 17-клеть

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 17   |



кварто № 9; 18-клеть кварто № 6; 19-клеть кварто № 11; 20-установка  
ускоренного охлаждения; 21-моталка № 4; 22-моталка № 5;  
23 – моталка № 7; 24-моталка № 8  
Рисунок 5 – Чистовая группа и отводящий рольганг ШСП 2500

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 18   |

Принятый контролерами ОКП металл передается в нагревательные печи стана, где дальше будет нагрев для прокатки на стане 2500. Нагрев слябов в методических печах в зависимости от марки стали и их толщины. Оплавление и сваривание металла не допускается. В качестве рабочего газа в нагревательных печах используется природный газ и коксоприродная смесь. Расход газа при максимальной производительности печей стана по отдельным зонам должен соответствовать данным, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 – Расход газа по зонам печи

| № зоны нагрева            | Расход газа в зависимости от вида топлива,<br>м <sup>3</sup> /час |              |
|---------------------------|---|--------------|
|                           | Природный газ   | Коксовый газ |
| 1 зона<br>(1-я сварочная) | 1000  | 2000         |
| 2 зона (нижняя)           | 2500  | 5000         |
| 3 зона<br>(2-я сварочная) | 2000  | 4000         |
| 4 зона                    | 1000  | 2000         |
| 5 зона ( томильная)       | 1000  | 2000         |
| Итого на печь             | 7500  | 15000        |

Оператор согласно ЭВМ передает информацию о прокатываемом металле по системе АСУ с указанием номера плавка-партии, марки стали, размеров слябов, размеров полос, массы одной полосы каждого размера и общей массы партии, назначения, стандарта или технических условий.

Выдача слябов в прокатку производится строго поплавно в соответствии с графиком-заданием, очередностью посадки и необходимым временем нагрева. Температурный режим печей должен обеспечивать, при

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 19   |

технологичном ходе прокатки, максимальную разность температур полос одной партии в 30 °С. Запрещается выдавать непрогретые слябы или слябы с подстуженной во время остановок стана боковой гранью. Нагретые слябы выдаются из печи и по отводящему рольгангу поступают к клетки дуо.

После выхода из клетки дуо раскат задается в уширительную клеть и транспортируется по рольгангу для прокатки в черновых клетях №2,3.

Прокатка в клетки дуо и клетки №2 может осуществляться с реверсом.

Раскат из черновой группы поступает к летучим ножницам «35x2350» для обрезки переднего и заднего концов.

Передние концы раскатов обрезаются на всем металле, задние концы раскатов обрезаются на металле толщиной не более 4 мм и на остальном металле, если концы раскатов имеют большой язык. Обрезка концов раската производится в автоматическом режиме.

Величина обрезаемого конца устанавливаются оператором промежулка ПУ по задатчику. Концы раскатов обрезаются до полной ширины. Обрезанные концы шириной до 150 мм считаются технологической обрезью, более 150 мм – дополнительной.

Контроль величины обрезки производится мастером производства. Контрольные замеры величины обрезки производят линейкой. Результаты замеров, величину дополнительной обрезки, причины ее образования и количество коробок с обрезью заносят в специальный журнал мастерами производства каждую смену.

От летучих ножниц «35x2350» раскат поступает в чистовую группу, где прокатываемая полоса находится одновременно в нескольких клетях.

При распределении обжатий в клетях следят за нагрузками на двигателях главных приводов, которые не должны превышать предельно допустимые.

Скорость прокатки в клетях чистовой группы должна обеспечивать в условиях заданных величин обжатий необходимые температуры конца прокатки для данного профиля и данной группы марок сталей.

Для обеспечения необходимых механических свойств металла полосы перед смоткой в рулоны охлаждаются водой с помощью системы душирования, расположенной на отводящем рольганге за чистовой группой клетей.

|     |           |          |       |      |                                   |      |
|-----|-----------|----------|-------|------|-----------------------------------|------|
|     |           |          |       |      | <b>22.03.02.2019.547.000.00ПЗ</b> | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Дата |                                   | 20   |

Охлаждению подвергаются полосы в зависимости от марки стали и назначения по соответствующим режимам.

Все полосы, прокатанные на стане, сматываются в рулоны на 4 моталках, после чего по конвейерам горячекатаных рулонов передаются на склад рулонов цехов горячего или холодного проката.

При использовании семиклетьевого полунепрерывного стана на первых проходах горячей прокатки степень деформации составляет 2...4%, так как слиток имеет литую крупнозернистую структуру, низкую пластичность и при больших степенях деформации может треснуть.

При прокатке слитков с наложенными планшетами на первых проходах прокатки смазывающе-охлаждающая жидкость на валки и слиток не подается, то есть прокатка производится «всухую». При этом коэффициент трения равен 0,5. Последующие проходы прокатки осуществляют с постепенным увеличением степени деформации от прохода к проходу до достижения максимально допустимого значения степени деформации для данной стали.

В последней клетки семиклетьевой непрерывной группы рекомендуется назначать степень деформации 10 ... 20% – это калибровочный проход прокатки.

На линии стана – до и за клетью дуо, за реверсивной клетью №2, клетью №3 и чистовым окалиноломателем установлены гидросбивы высокого давления, с помощью которых производится сбив окалины с поверхности металла.

Работа гидросбивов должна обеспечивать требуемое ГОСТ качество поверхности. Давление воды при одновременной работе всех коллекторов должно быть не менее 80 атм. (8 МПа).

В аварийных ситуациях раскат перед чистовой группой сталкивается в «карман» для недокатов, маркируется вальцовщиком черновой группы и после резки на мерные длины складывается в пакет.

Требуемая температура конца прокатки достигается путем изменения скорости прокатки в чистовой группе, толщины подката в пределах допустимых нагрузок, включением межклетьевого охлаждения в чистовой группе при фиксированном варианте прокатки.

|     |           |          |       |          |                                   |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|-----------------------------------|------|
|     |           |          |       |          | <b>22.03.02.2019.547.000.00ПЗ</b> | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                                   | 21   |

Для контроля размеров прокатываемых полос и температурного режима прокатки на линии стана установлены:

- измеритель ширины полосы за 11 клетью;
- рентгеновские измерители толщины за 11 клетью;
- пирометры за 3 клетью, за 11 клетью и перед моталками (сверху).

При отклонении размеров полосы от заданных производится корректировка обжатий в клетях. При выявлении переменной ширины и толщины полосы по ее длине производится регулировка натяжения полосы в клетях чистовой группы, используется режим ускорения полосы.

В процессе прокатки металла образуется значительное количество окалины и технологической обрезки.

Окалина после сбива с поверхности полос смывается технической водой по шламовому тоннелю в специальные отстойники, расположенные в скрапном пролете стана. После отстоя окалина грейферным краном загружается в железнодорожный или автомобильный транспорт и вывозится из цеха.

Обрезь металла, получаемая после летучих ножниц, в специальных коробках транспортируется в скрапной пролет и отгружается в специальные вагоны для нужд сталеплавильного производства.

Технологическая обрезь, получаемая на моталках, режется газовыми резаками на определенные размеры, складывается магнитом в коробки и отгружается в специальные вагоны для нужд сталеплавильного производства.

На линии стана – до и за клетью дуо, за реверсивной клетью №2, клетью №3 и чистовым окалиноломателем установлены гидросбивы высокого давления, с помощью которых производится сбив окалины с поверхности металла.

Работа гидросбивов должна обеспечивать требуемое ГОСТ качество поверхности. Давление воды при одновременной работе всех коллекторов должно быть не менее 80 атм. (8 МПа).

В аварийных ситуациях раскат перед чистовой группой сталкивается в «карман» для недокатов, маркируется вальцовщиком черновой группы и после порезки на мерные длины складывается в пакет.

|     |           |          |       |          |                                   |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|-----------------------------------|------|
|     |           |          |       |          | <b>22.03.02.2019.547.000.00ПЗ</b> | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                                   | 22   |

Требуемая температура конца прокатки достигается путем изменения скорости прокатки в чистовой группе, толщины подката в пределах допустимых нагрузок, включением межклетьевого охлаждения в чистовой группе при фиксированном варианте прокатки.

Для контроля размеров прокатываемых полос и температурного режима прокатки на линии стана установлены:

- измеритель ширины полосы за 11 клетью;
- рентгеновские измерители толщины за 11 клетью;
- пирометры за 3 клетью, за 11 клетью и перед моталками (сверху).

При отклонении размеров полосы от заданных производится корректировка обжатий в клетях. При выявлении переменной ширины и толщины полосы по ее длине производится регулировка натяжения полосы в клетях чистовой группы, используется режим ускорения полосы.

В процессе прокатки металла образуется значительное количество окалина и технологической обрезки.

Окалина после сбива с поверхности полос смывается технической водой по шламовому тоннелю в специальные отстойники, расположенные в скрапном пролете стана. После отстоя окалина грейферным краном загружается в ж/д или автомобильный транспорт и вывозится из цеха.

Обрезь металла, получаемая после летучих ножниц, в специальных коробках транспортируется в скрапной пролет и отгружается в специальные вагоны для нужд сталеплавильного производства.

Технологическая обрезь, получаемая на моталках, режется газовыми резаками на определенные размеры, складывается магнитом в коробки и отгружается в специальные вагоны для нужд сталеплавильного производства.

Моталки стана горячей прокатки должны обеспечивать качественную и производительную смотку полос в рулоны.

Настройка моталок состоит из следующих последовательных операций:

- установка зазора между тянущими роликами;
- установка зазоров между барабаном и формирующими роликами;
- установка направляющих линеек;

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 23   |

- установка соотношений скоростей между последней чистой клетью и отводящим рольгангом, между отводящим рольгангом и тянущими роликами, между тянущими роликами и барабаном моталки, между тянущими роликами и барабаном моталки, между барабаном и формирующими роликами.

После смотки, готовый рулон транспортируется в листопрокатный цех (ЛПЦ) на линию травления, для последующей холодной прокатки.

#### 1.6 Технологический процесс травления.

Для листового проката необходимы повышенные требования к чистоте поверхностей для нанесения защитных покрытий (цинкованию и полимерной окраски). Для этой цели применяют травление на участке прокатного цеха.

Технологический процесс травления металла включает:

- установку рулонов на разматыватель, заправку и размотку полосы;
- обрезку переднего и заднего конца;
- сварку концов обрабатываемых рулонов;
- дрессировку;
- процесс травления окалины в соляной кислоте;
- промывку и сушку полосы;
- очистку от паров соляной кислоты;
- операции в выходной секции.

Металл на травление задается с учетом выдержки охлаждения после горячей прокатки в течение 16-90 ч в летний период и 16-60 ч в зимний период в зависимости от массы рулонов.

После установки рулона на разматыватель полоса с помощью тянущих роликов подается в правильную машину, после чего с помощью гильотинных ножниц обрезают передний и задний концы рулона и производят сварку концов с заправочной полосой.

С целью разрушения окалины, для ускорения процесса травления полосы, а также для обеспечения требуемого профиля полосы горячекатаный металл поступает на дрессировку.

Далее металл поступает в ванну травления.

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 24   |

Для удаления окалины с поверхности горячекатаных полос используется регенерированная соляная кислота с массовой концентрацией по HCl от 185 до 205 г/л; FeCl<sub>2</sub> – не более 5 г/л; FeCl<sub>3</sub> – не более 13 г/л.

Процесс травления производится для удаления окалины с поверхности горячекатаной полосы. Стравливание окалины происходит химическим способом, согласно реакциям (1, 2, 3):



При этом полоса последовательно проходит через технологическую часть агрегата в следующем порядке:

- четыре секции травления глубокого типа с погружением полосы в травильный раствор;
- ванна струйной промывки, состоящей из пяти ступеней;
- сушильное устройство с дополнительным обдувом кромок полосы воздухом с пневмосистемы.

Регенерированная соляная кислота подается в четвертый травильный отсек ванны травления и каскадом переливается в первый, в направлении противоположном движению полосы. Это обеспечивает постепенное снижение концентрации кислоты от четвертого до первого отсека травления. Отработанный травильный раствор (ОТР) через переливной «рабочий» патрубок 1-го отсека травления самотёком сливается в ёмкость, находящуюся в техническом этаже под НТА-2 и далее насосом перекачивается в емкость ОТР расположенную на складе растворов, установки регенерации кислоты.

Корректировка и поддержание необходимого состава травильных растворов производится автоматически в зависимости от показаний радиоизотопного измерителя плотности отработанного травильного раствора (датчика Бертольда). Температура травильного раствора в отсеках ванны травления регулируется в автоматическом режиме.

Скорость травления горячекатаного подката должна составлять не более 2,5 м/с для плавной обработки рулона.

|     |           |          |       |          |                                   |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|-----------------------------------|------|
|     |           |          |       |          | <b>22.03.02.2019.547.000.00ПЗ</b> | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                                   | 25   |



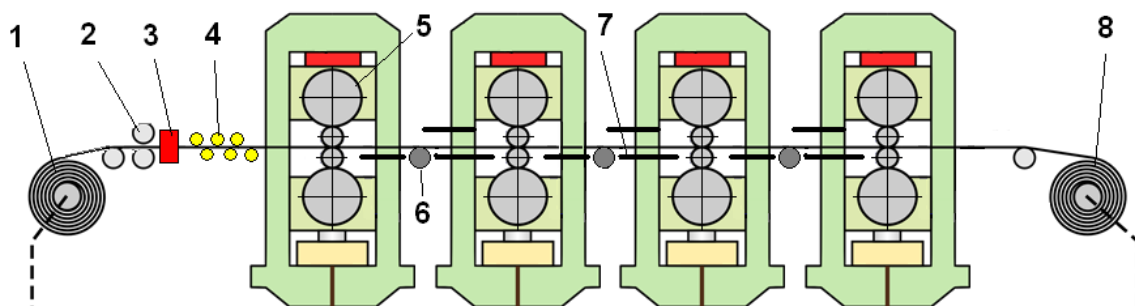
Промывка полосы после травления производится в пятиступенчатой, струйной ванне промывки с помощью системы коллекторов с распылительными форсунками и удалением ее излишков.

После струйной промывки полосу сушат в сушилах (со звукопоглощением) воздухом, подогретым до температуры не менее 130 °С, с дополнительным сдувом остатков воды с кромок полосы воздухом, с температурой окружающей среды.

На поверхности протравленной полосы не должно быть дыр, плен, вмятин, трещин, царапин, изломов, грубых рисок, а также загрязнений, недотрава и перетрава. Поверхность должна быть светлой, матовой.

### 1.7 Холодная прокатка.

На рисунке 6 представлена схема для стана холодной прокатки, в которой травленная горячекатаная полоса с обрезной кромкой или без подрезки кромки из низкоуглеродистой сматывается в рулон.



1 – разматыватель барабанный; 2 – ролики подающие; 3 – проводка роликовая центрирующая; 4 – стол роликовый проводковый; 5 – клеть рабочая; 6 – ролик тензометрический; 7 – стол проводковый; 8 – моталка.

Рисунок 6 – Схема стана холодной прокатки 2500

Рулоны, предназначенные для прокатки на 4-клетевом стане, краном устанавливаются на приёмный конвейер (рольганг) и подаются им к подъёмному рольгангу. Задача рулона на барабан разматывателя производится оператором поста управления (ПУ) разматывателя с помощью подъёмного рольганга и сдвоенного толкателя. После установки рулона по оси прокатки при помощи толкателя и упора рулон зажимается секторами на барабане,

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 26   |

включается привод барабана разматывателя и рулон поворачивается в положение удобное для отгибания переднего конца полосы скребковым отгибателем. При помощи скребкового отгибателя и подающих роликов передний конец полосы задаётся в 1 клеть. Верхняя траверса пресс-проводкового стола клетки № 1 в момент задачи переднего конца полосы поднимается в крайнее верхнее положение. Полоса располагается в направляющих проводках. После захвата полосы рабочими валками 1 клетки верхняя траверса пресс-проводкового стола опускается в крайнее нижнее положение, поднимается прижимной ролик, опускается обводной ролик и нижний задающий ролик разматывателя, включается регулятор натяжения полосы между разматывателем и пресс-проводковым столом 1 клетки. С захватом переднего конца полосы валками 1 клетки начинается процесс прокатки. Задача переднего конца полосы в последующие клетки производится на заправочной скорости. С помощью отдельной работы нажимных винтов передний конец полосы центрируется по оси стана. При захвате переднего конца полосы валками 4 клетки нажимные винты клеток стана поднимаются до положения прокатки на требуемую толщину по показаниям продуктиметров. Намотка переднего конца полосы на барабан моталки производится при помощи захлестывателя. Переход стана на рабочую скорость прокатки производится после появления натяжения на моталке и отведения захлестывателя в исходное положение. Значение толщины полосы устанавливается с главного ПУ оператором в соответствии с уставками толщины после 1 клетки.

### 1.8 Термическая обработка рулонной стали в колпаковой печи.

Для всей продукции цехов прокатки обязательной является термическая обработка, которая в большинстве случаев состоит в светлом низкотемпературном рекристаллизационном отжиге. Изменяя режимы прокатки (степень обжатия) и степень рекристаллизации при отжиге, у холоднокатаных листов можно получить прочностные и пластические свойства в весьма широком диапазоне.

Низкотемпературный рекристаллизационный отжиг рулонов толщиной менее 1 мм из малоуглеродистой стали можно проводить в колпаковых печах. При рекристаллизационном отжиге листов и рулонов холоднокатаной малоуглеродистой стали в колпаковой печи конечные температуры всех точек отжигаемой садки должны лежать в интервале температур рекристаллизации примерно от 580-590 °С до точки  $A_{c1}$  ( $A_{c1}=732$  °С). При этом чем ближе

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 27   |

температура металла к точке  $A_{c1}$ , тем полнее проходит рекристаллизация и тем лучше пластические свойства будут у отожженного металла. Однако повышение температуры выше точки  $A_{c1}$  приводит к чрезмерному росту зерна, обезуглероживанию и ухудшению прочностных свойств металла. Кроме того, из-за крупнозернистой структуры ухудшается качество поверхности готовых листов и изделий из них.

Понижение температуры нагрева металла приводит к получению более мелкозернистой структуры, увеличению его твердости и к снижению пластических свойств. Чрезмерное снижение температур (до или ниже нижнего предела рекристаллизации), может привести к тому, что структура отожженного металла будет характеризоваться остаточными явлениями наклепа, низкой пластичностью и низкими механическими свойствами.

Качество холоднокатаного листа в значительной мере зависит не только от температурного режима, но и от состава защитного газа и режима питания печи этим газом.

Отжиг холоднокатаной ленты из малоуглеродистой и низкоуглеродистой стали проводят в атмосфере азотного защитного газа, а термическую обработку ленты из легированных и специальных сталей – в атмосфере водородного защитного газа.

После установки муфеля на стенд начинают продувать его защитным газом, для вытеснения воздуха. Продувка должна быть закончена до того, как максимальная температура в садке достигнет 450-500 °С. Защитный газ подают под муфель в течении всего цикла отжига, вплоть до снятия муфеля.

Тип печи - газовая, одностопная, колпаковая. Топливом для колпаковых печей служит природный газ.

Составными частями печи являются нагревательный колпак, стенд, муфель, конвекторные кольца, охлаждающий колпак, вентильная стойка.

Нагревательный колпак представляет собой металлический кожух цилиндрической формы, футерованный внутри волокнистым материалом. Нагревательный колпак оснащен воздуходувкой и центральным рекуператором для подогрева воздуха горения до 350 °С.

Стенд колпаковой печи служит основанием на котором подвергают термообработке садку рулонов. Он оснащен резиновым водоохлаждаемым

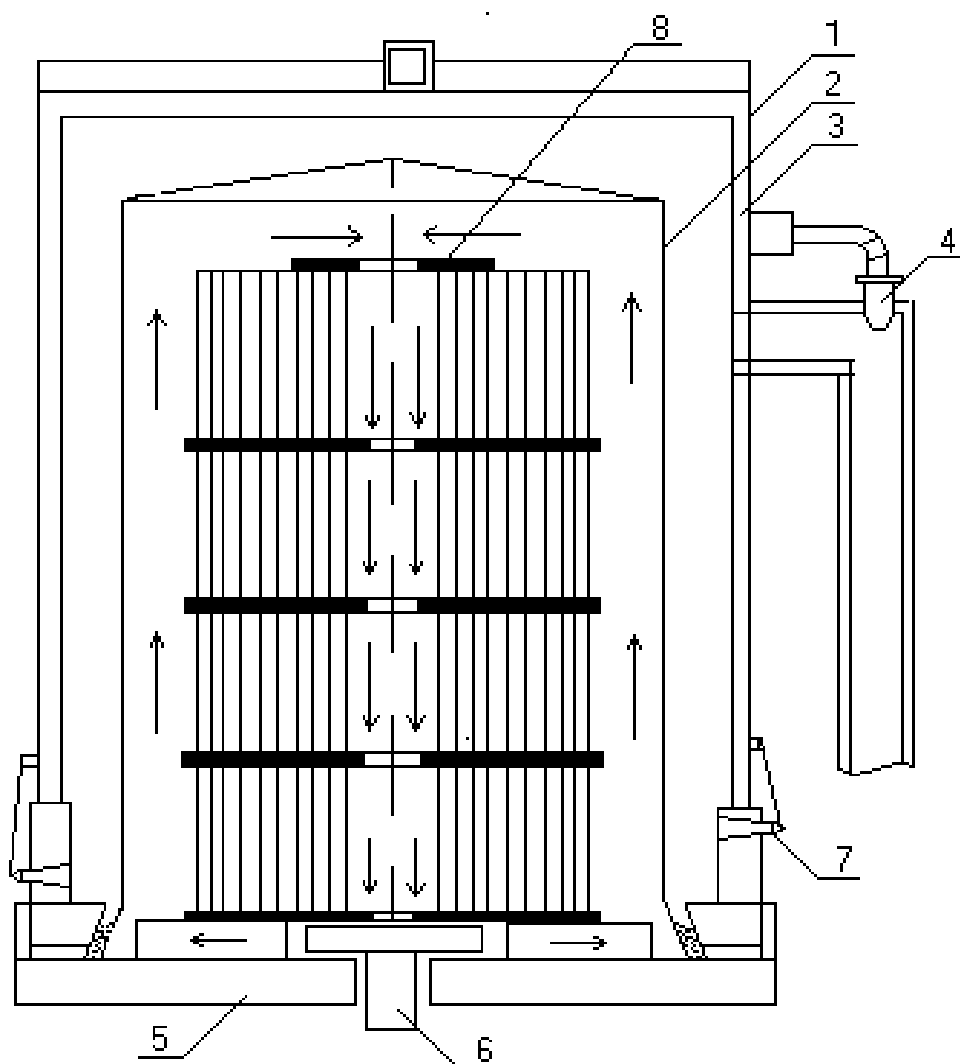
|     |           |          |       |          |                                   |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|-----------------------------------|------|
|     |           |          |       |          | <b>22.03.02.2019.547.000.00ПЗ</b> | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                                   | 28   |

уплотнением, которое при прижиге муфеля слегка деформируется, обеспечивая газонепроницаемость подмуфельного пространства.

Муфель предназначен для изоляции стопы рулонов от печной атмосферы (продуктов сгорания топлива) и представляет собой газоплотный рифленый цилиндр из хромоникелевой стали. В комбинации со стендом образует газогерметичную камеру, отделенную от печного пространства.

Конвекторные кольца служат для обеспечения лучшего прогрева и увеличения площади контакта защитного газа с металлом, укладываются между рулонами.

На рисунке 7 представлена схема колпаковой печи ЛПЦ.



1-колпак, 2-муфель, 3-кладка, 4-инжектор 5-стенд, 6-циркуляционный вентилятор, 7-горелки, 8- крышка.

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 29   |

## Рисунок 7 – Колпаковая печь

Стенд является основанием садки рулонов, который устанавливают на фундаменте без крепления и центрируют, посадив на два направляющих штыря, закрепленных в фундаменте. Эти штыри служат одновременно и для центрирования нагревательного колпака. В центре стенда устанавливают циркуляционный вентилятор. Для защиты электродвигателя от тепла печи внутрь полого вала, в верхнюю часть фланца вентилятора и в корпус двигателя подается проточная вода. Для предупреждения подсоса атмосферного воздуха опорные кольца, на которых установлен направляющий аппарат циркуляционного вентилятора, засыпают сухим диатомовым порошком. К стенду подведены трубопроводы защитного газа, воды, эжекторного воздуха и природного газа, а также кабельная разводка для питания электродвигателя вентилятора, исполнительного механизма, контрольно-измерительных приборов и термопары. Контроль температуры стопы рулонов осуществляется по стендовой термопаре, измеряющей температуру защитного газа в подмуфельном пространстве. Термопара установлена в направляющем аппарате циркуляционного вентилятора между стопой рулонов и муфелем на расстоянии 990 мм от оси стенда.

Стопу рулонов устанавливают на направляющий аппарат и накрывают муфелем из жароупорной стали, что защищает металл от окисляющего воздействия печных газов. Стык стенда с нагревательным колпаком и муфелем уплотняют песочным затвором.

Для равномерного обогрева внутренней полости садки, а также торцов рулонов организуют принудительную циркуляцию защитного газа в подмуфельном пространстве с помощью циркуляционного вентилятора.

Между рулонами и под низ стопы укладывают конвекторные кольца, обеспечивающие интенсивную теплопередачу между защитным газом и торцами рулонов. Сверху стопу рулонов закрывают специальной крышкой, так же для создания более равномерного конвективного потока внутри муфеля.

В состав блока входит:

- нагревательный колпак – 8 шт;
- стенд – 12 шт;
- муфель – 12 шт;
- вентиляционная стойка – 12 шт;
- охлаждающий колпак воздушно-водяного охлаждения – 4 шт.

|     |      |          |       |      |                                   |      |
|-----|------|----------|-------|------|-----------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | <b>22.03.02.2019.547.000.00ПЗ</b> | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                                   | 30   |

Продукты горения природного газа удаляются из-под колпака с помощью двух эжекторов в существующую боровную систему и затем дымовую трубу.

Для предохранения металла от окисления в период нагрева и охлаждения под муфель подают защитный газ следующего состава:

- Азот – от 92,5 до 96%,
- водород – от 4 до 7,5%,
- кислород в данном составе не более 0,003% с точкой росы не выше минус 45 °С.

Нагрев металла в подмуфельном пространстве происходит за счет трех одновременно действующих способов передачи тепла: лучеиспускания нагретого муфеля, теплопроводности и конвекции защитного газа. Рекристаллизационный отжиг служит для снятия наклепа холоднокатаной полосы и восстановления ее пластических свойств. Подробный расчет будет представлен в главе 2.

### 1.9 Оцинковка рулонной стали.

Предъявляемые требования для профнастила кровли включает в себя высокую коррозионную стойкость. Для достижения этих требований рулонную сталь сначала подвергают оцинковке на агрегате непрерывного горячего цинкования, получаемые рулоны дальше отправляются на линию покраски для придания дополнительных защитных свойств от ультрафиолетового излучения и придания гидрофобного слоя.

Подъемно-передвижная тележка поднимает рулон с приводной опоры и транспортирует его к разматывателю. Центровка рулона по оси агрегата производится автоматически при установке его на барабан разматывателя. Плотнo смотанные рулоны, с плотно прилегающим внешним витком и припасованным по образующей к остальным виткам рулона, поплавно и строго по размерам подаются на разматыватель. Где проверяют наличие отдельных выступающих витков и нарушение внутреннего диаметра рулона, которое не допустимо. Телескопичность рулонов не должна превышать 40 мм. На кромках полос не должно быть рванин, вмятин и других дефектов, выводящих ширину полосы за пределы допускаемых отклонений. Значение

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 31   |

загрязнённости поверхности подката не должно превышать 400 мг/м<sup>2</sup>. Разматыватели работают поочередно: пока один рулон разматывается, на другой разматыватель задаётся следующий рулон, его передний конец обрезается и подводится к сварочной машине. При этом рулон проходит через систему контроля наружного диаметра и ширины рулона, расположенную перед приводной опорой. Обвязка с рулона снимается оператором входной секции вручную. Утолщённые концы рулонов должны быть удалены, для чего производится их обрезка на входных гильотинных ножницах. Контроль за толщиной холоднокатанных рулонов осуществляется оператором входной секции по образцам вырезанным перед сваркой полос и в потоке с помощью рентгеновского толщиномера. После обрезки утолщённого участка задний конец предыдущего рулона на заправочной скорости транспортируется к сварочной машине, фиксируется в направляющем зазоре прижимами.

После сварки участок полосы со сварным швом перемещается на инспекционный стол, где производится оценка качества шва. При этом в районе сварного шва создаётся натяжение полосы, после чего оператор производит его визуальную оценку. При обнаружении полного или частичного разрушения шва, сваренный участок полосы подается обратно в сварочную машину, где производится вырезка дефектного шва и повторение цикла сварки.

Допускается оценку качества сварного шва производить простукиванием его молотком не менее чем в трёх точках по длине шва. Качество считается удовлетворительным, если в местах деформации шва острым концом молотка при визуальном осмотре не обнаруживается расслоений и растрескиваний. Полный цикл сварки от остановки линии на входе АНГЦ до ее пуска составляет занимает от 50-60 с., после сварки полос создаётся требуемое натяжение, оборудование входной секции разгоняется до скорости превышающей скорость движения полосы в технологической секции и во входной накопитель набирается запас полосы для обеспечения непрерывной работы агрегата при следующем цикле. После заполнения входного накопителя, скорости входной и технологической секций синхронизируются.

Операция по очистке полосы проводится для удаления загрязнений с ее поверхности, образовавшихся при прокатке, и включает в себя: химическую, химико-механическую (обработка в щёточно-моечной машине) с подачей на полосу струй горячего обезжиривающего раствора, электрохимическую и механическую очистку (обработка в ЦММ с подачей на полосу струй горячей воды).

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 32   |

Очистка полосы проводится в два этапа, при этом полоса последовательно проходит через ванны очистки в следующем порядке:

1) секция предварительной очистки (производится перед входным накопителем): ванна щелочной химической очистки методом погружения; ЩММ №1 с подачей на полосу струй горячего щелочного раствора; ванна струйной промывки горячей водой; сушка горячим воздухом.

2) секция основной очистки (производится после входного накопителя): ванна щелочной химической очистки методом погружения; ЩММ №2 с подачей на полосу струй горячего щелочного раствора; ванна электрохимической очистки;

3) ЩММ №3 с подачей на полосу струй горячей воды; ванна струйной промывки горячей водой;

Сушка горячим воздухом. Температура обезжиривающих щелочных растворов в ваннах от 70 до 90 °С. Контроль за температурой и концентрацией обезжиривающего раствора в предварительной и основной секциях очистки осуществляет аппаратчик. Качество очистки поверхности полосы зависит от состояния щеток и степени их прижатия к обрабатываемой поверхности.

Ванны промывки имеют распыляющие насадки - форсунки, подающие воду на поверхность полосы. Последняя пара форсунок в ваннах струйной промывки запитывается деминерализованной водой, подогретой в паровом нагревателе до температуры от 70 до 110 °С, вода на остальные форсунки подается из циркуляционных баков соответствующих секций, с температурой от 70 до 100 °С. После предварительной и основной очистки и промывки поверхности полосы, ее сушат в сушилах воздухом, подогретым до температуры от 100 до 140 °С.

Лист, оцинкованный горячим способом, производится согласно ГОСТ 14918-80 (Сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий. Технические условия). Суть метода заключается в том, что на предприятии рулонный лист марки 08кп протягивается через ванну с расплавом цинкосодержащего состава (цинка марки Ц1, Ц2 или Ц0), разогретого примерно до 450-480 градусов Цельсия. При такой температуре цинк хорошо смачивает сталь, и посредством диффузии проникает в наружные слои стальной заготовки. Полученная плёнка не просто хорошо держится на поверхности основного металла, но она становится со сталью единым целым.

|     |           |          |       |          |                                   |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|-----------------------------------|------|
|     |           |          |       |          | <b>22.03.02.2019.547.000.00ПЗ</b> | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                                   | 33   |



По сравнению с гальваническим способом, горячее цинкование создаёт защитный слой намного толще.

Лист оцинкованный ГОСТ получается намного более долговечным чем, допустим, окрашенный, ведь его защитная прослойка не даёт сколов при ударах, не трескается при изгибах и растягиваниях и т.д. При воздействии кислорода и воды цинк первым вступает в так называемую «жертвенную» реакцию оставляя сталь нетронутой, кроме того он создаёт патину, предотвращающую электромеханическую коррозию.

Толщина и равномерность нанесения цинка. Очень важно знать, что цинковый защитный слой со временем «изнашивается». На скорость протекания данного процесса могут существенно влиять эксплуатационные условия, поэтому, чем большей толщины будет покрытие, тем больший срок сможет отслужить материал. Чтобы точнее отобразить качество и прогнозируемую долговечность цинкового слоя, в расчёт берётся не только толщина пассивной защиты, но также удельная масса покрытия. Согласно данным критериям нормативные документы предлагают выделять 3 класса оцинкованных листов по толщине покрытия, которые приведены в таблице 5.

Таблица 5 – классификация листов по цинковому слою.

| Класс стали по толщине цинкового слоя | Масса защитной прослойки, имеющейся с обеих сторон (в граммах) | Толщина покрытия в микрометрах (мкм) |
|---------------------------------------|--|--------------------------------------|
| Повышенный (П)                        | более 570 до 855 включительно                                  | более 40 до 60 включительно          |
| I                                     | более 258 до 570   | более 18 до 40                       |
| II                                    | От 142,5 до 258  | От 10 до 18                          |

Кровельный профнастил должны соответствовать, как минимум, второму классу по толщине защиты из цинка, иначе выполненная конструкция прослужит слишком недолго. Зная массу покрытия и удельную массу кубического метра стали, можно чётко высчитать вес оцинкованного листа.

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 34   |

Возможные видимые дефекты оцинкованного листа, который предназначен для дальнейшей холодной прокатки, холодного штампования и покраски может иметь на лицевых поверхностях небольшие потёки и наплывы покрытия, следы от валов, царапины, раковины и шероховатые потёртые участки, которые не влияют на целостность защиты. Допускаются на поверхностях также светлые и затемнённые матированные пятна. Для покраски оцинкованная сталь выполняется без узоров кристаллизации.

#### 1.10 Покраска рулонной стали.

Современные методы покраски металла полимерными материалами используют метод непрерывной окраски рулонной стали с помощью вальцов. Принцип заключается в том, что на прокат наносят лакокрасочные полимерные покрытия, обеспечивая дополнительную защиту от коррозии гидрофобной микротекстурой, которая продлевает конечный срок эксплуатации до 40 лет (из них гарантийные обязательства от 20 лет). Так же окраска несёт декоративную отделку материала и предлагает широкий диапазон палитры, наносимых цветов. Полимерное покрытие обладает таким преимуществом, как возможность обработки металла с уже нанесенным покрытием без нарушения целостности лакокрасочной плёнки, благодаря чему выдерживает разнообразные виды механических деформаций (штамповку, резку, вытяжку).

В настоящее время достигнута полная автоматизация процессов окраски, обеспечивающие минимальные потери лакокрасочных материалов при нанесении на рулонную сталь, что снижает цену готовой продукции, по сравнению с покраской уже готовых изделий.

К лакокрасочным покрытиям, применяемым для предварительной окраски металлического проката, предъявляются весьма жесткие требования:

- максимально быстрое время отвердения,
- высокая адгезия,
- высокие показатели эластичности и способность к деформации, обеспечивающие возможность последующей переработки,
- хорошие защитные свойства и атмосферостойкость,
- высокая сопротивляемость к загрязнениям,
- высокая прочность к царапанью и стиранию,

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 35   |

- сохранение защитных и декоративных свойств в течение длительного времени (более 20 лет) и целый ряд специальных требований в зависимости от назначения и условий эксплуатации готовых изделий.

На рисунке 8 представлена схема скоростной покраски рулонов полимерными покрытиями. Линия окрашивания, установленная на участке, обеспечивает высокую скорость прохода рулона, а свойства, которые обладают повышенной стойкостью, могут быть воспроизведены из исходных материалов, в основном имеющих в России. Основные параметры и состав технологических линий, сортимент выпускаемой продукции согласованы согласно с конкретными требованиями потребителей.

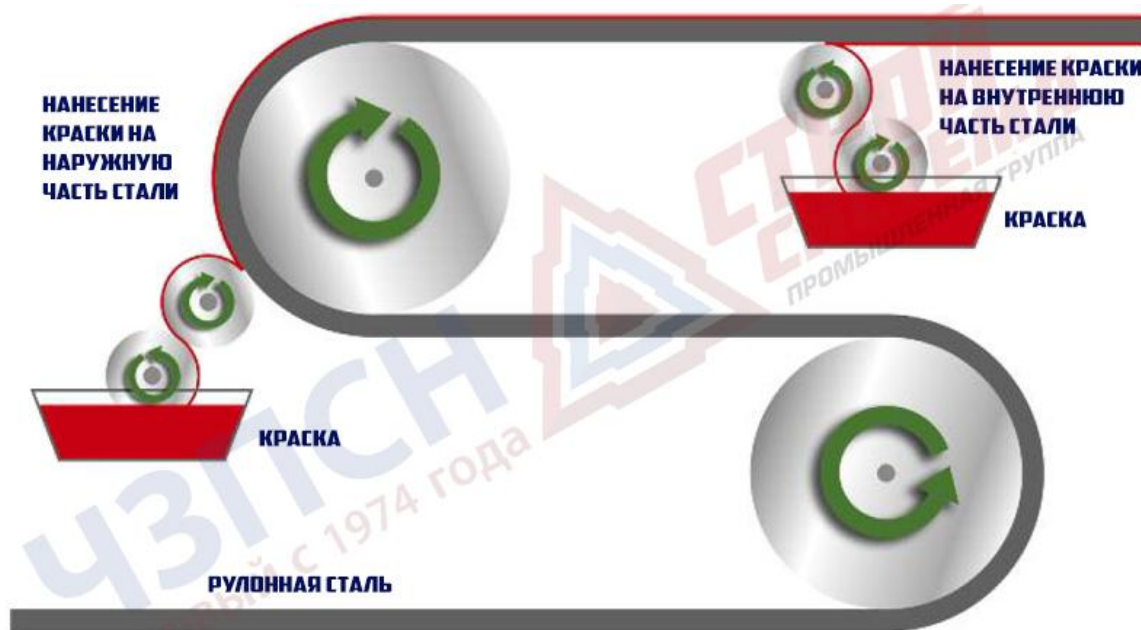


Рисунок 8 – Схема блока нанесения жидкого покрытия на стальную полосу

На участке покраски осуществляют следующие операции:

- Контроль поступающего металла, предназначенного для окраски;
- Контроль всех партий лакокрасочных материалов, поступающих в цех: пробы отбираются по мере поступления новой партии материалов;
- Контроль качества покрытий, нанесенных на металл: качество покрытий проверяется на образцах размером 150x70 мм, отрезанных от рулонов

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 36   |

после полной их обработки. Контрольные образцы подвергаются следующим операциям:

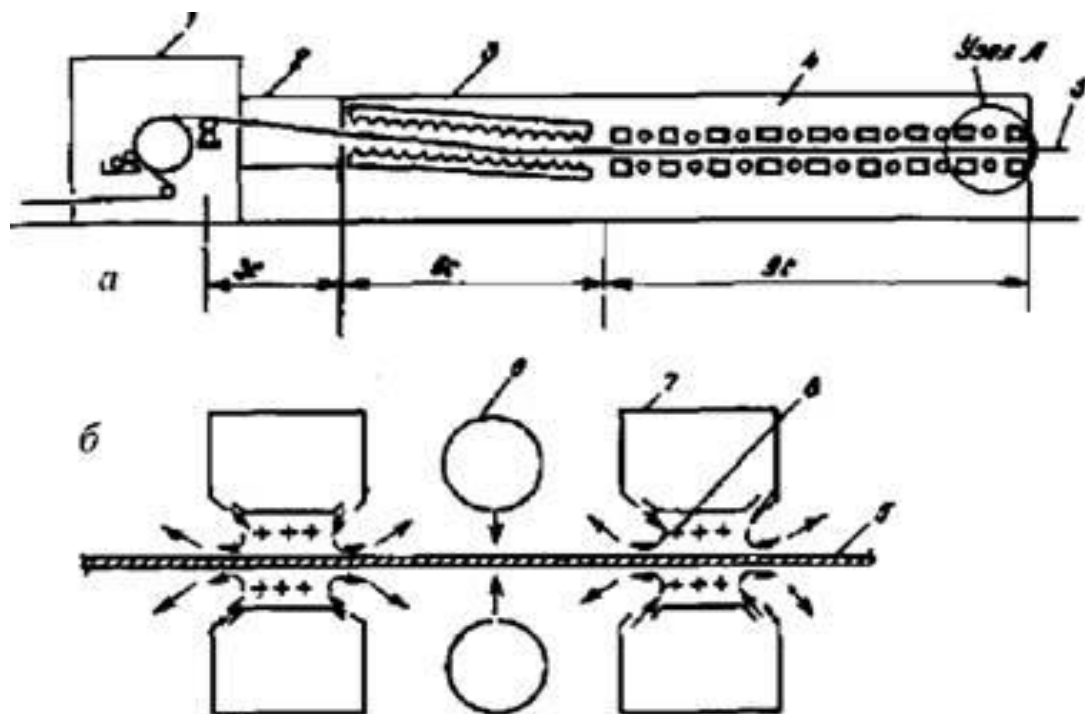
- подготовка образцов – зачистка и обезжиривание;
- нанесения покрытия послойно с определенной толщиной мокрого слоя;
- промежуточная сушка;
- измерения толщины сухой пленки;
- испытания лакокрасочного покрытия на металле – цвета, блеска, твердости «по карандашу», прочности на удар, адгезии к металлу, прочности покрытия при изгибе «Т».

Образцы для приемо-сдаточных испытаний качества готовой продукции отбираются от каждой партии окрашенного металла – около 40 образцов в сутки.

После нанесения покрытия обязательной операцией является его сушка с целью удаления растворителей или желатинизации полимеров, а также полимеризации мономеров. Сушка покрытия является важной технологической операцией, от которой зависит не только качество покрытия, но и экономичность всего передела, так как параметры технологии и печи определяют скорость прохождения полосы в агрегате и тем самым его производительность, а также расход топлива.

В сушильной печи, представленной на рисунке 9, нагрев и сушку производят за счет обдува полосы горячим воздухом через сопла, равномерно установленные по длине печи и расположенные под и над полосой. Между соплами для поддержания полосы расположены трубчатые коллекторы с щелевыми отверстиями, через которые также подается газ, нагревающий полосу. Благодаря зонам повышенного давления между поддерживающими соплами в печах с перемещением металла на воздушной подушке создается эффект правки волнистости и коробоватости полосы. При перемещении на воздушной подушке полоса проходит через печь горизонтально без провисания, в связи с чем длина печи не ограничивается.

|     |           |          |       |      |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Дата |                            | 37   |



а—общий вид; б — узел А; 1 — камера нанесения покрытия; 2 — переходной туннель; 3—участок печи с провисанием полосы; 4 — участок печи с перемещением металла на воздушной подушке; 5 — полоса; 6 — трубчатый коллектор для подачи газа; 7 — сопло для поддержания полосы; 8 — зона положительного давления (стрелками показаны направления поступления газа из горелок на полосу и отвода их с полосы)

Рисунок 9 – Схема сушильной печи с перемещением металла на воздушной подушке

После чего, полученные рулоны поступают на участок с поперечными ножницами, где производят отрезки, соответствующие конкретному заказу, маркируются согласно сортамента и отправляются на дальнейшую обработку к заказчику.

### 1.11 Прокатка на профилирующем стане.

Окрашенные рулоны поступают на участок с профилирующим станом для сортамента НС-35. Ширина рулона составляет 1250 мм.

Оборудование предназначено для производства кровельного и стенового профнастила из оцинкованной стали (ГОСТ 14918) и тонколистового металла с полимерным или лакокрасочным декоративно-защитным покрытием (ГОСТ 30246-94; ГОСТ 9045; ГОСТ 1050) толщиной 0,5-0,8 мм методом последовательного профилирования.

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 38   |

Профилирующий стан обеспечивает придание заданных размеров по сечению листа и его длину.

В основе профилирующих станом заложен принцип упрочнения листов за счет наклепа. Наклёп – упрочнение металлов и сплавов вследствие изменения их структуры и фазового состава в процессе пластической деформации при температуре ниже температуры рекристаллизации.

Наклеп металла является одним из способов упрочнения металлического изделия. Происходит это благодаря пластической деформации, которой такое изделие подвергают при температуре, находящейся ниже температуры рекристаллизации. Деформирование в процессе наклепа приводит к изменению как внутренней структуры, так и фазового состава металла. В результате таких изменений в кристаллической решетке возникают дефекты, которые выходят на поверхность деформируемого изделия. Естественно, эти процессы приводят и к изменениям механических характеристик металла. В частности, с ним происходит следующее:

- повышается твердость и прочность;
- снижаются пластичность и ударная вязкость, а также сопротивляемость к деформациям, имеющим противоположный знак;
- ухудшается устойчивость к коррозии

При холодной деформации металла, протекающей в результате воздействия соответствующего давления, дислокации, составляющие внутреннюю структуру материала, начинают перемещаться. Даже одна пара движущихся дефектных линий, сформировавшихся в кристаллической решетке, способна привести к образованию все новых и новых подобных локаций, что в итоге и повышает предел текучести материала. Внутренняя структура металла при его деформировании в процессе выполнения наклепа претерпевает серьезные изменения. В частности, искажается конфигурация кристаллической решетки, а пространственное положение кристаллов, которые ориентированы беспорядочно, упорядочивается. Такое упорядочивание приводит к тому, что оси кристаллов, в которых они обладают максимальной прочностью, располагаются вдоль направления деформирования. Чем активнее будет выполняться деформирование, тем большее количество кристаллов примут подобное пространственное положение.

|            |                         |                 |              |             |                                   |             |
|------------|-------------------------|-----------------|--------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
|            |                         |                 |              |             | <b>22.03.02.2019.547.000.00ПЗ</b> | <i>лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i><br><i>т</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подп.</i> | <i>Дата</i> |                                   | 39          |

Существует ошибочное мнение, что зерна, составляющие внутреннюю структуру металла, при его деформации измельчаются. На самом деле они только деформируются, а площадь их поверхности остается неизменной (рисунок 10).

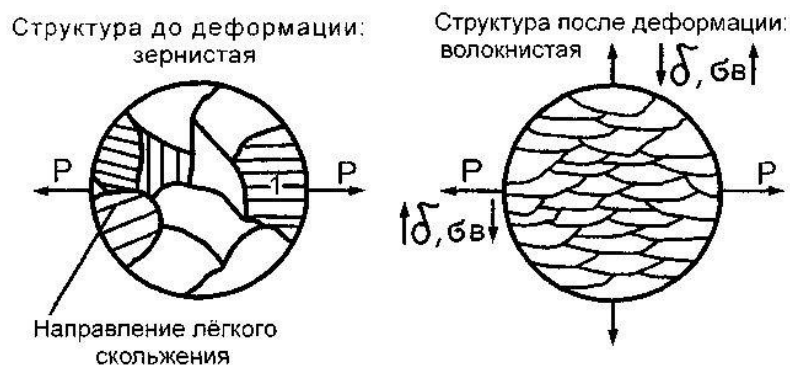
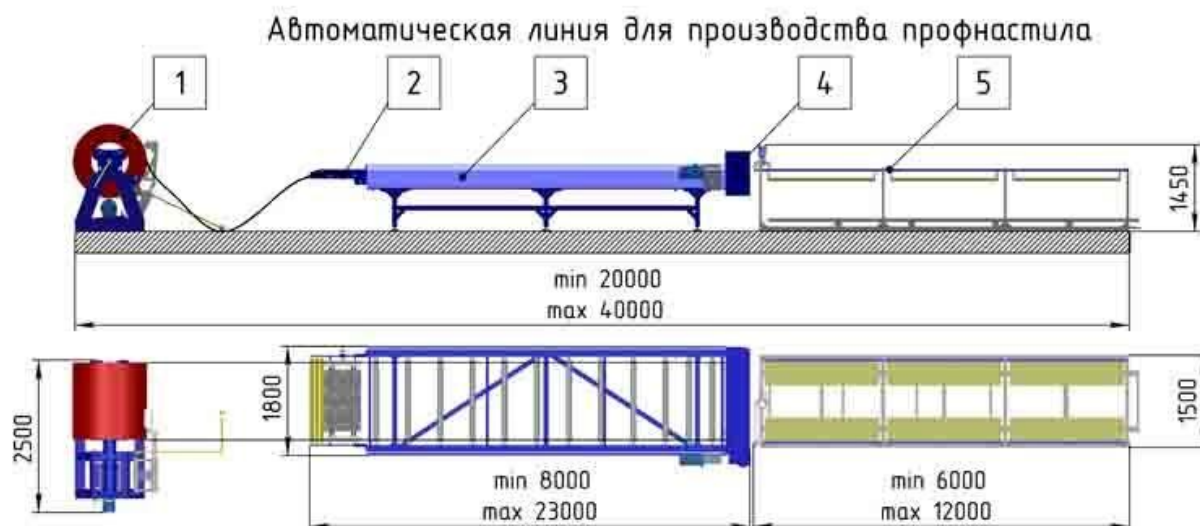


Рисунок 10 – Изменение структуры поверхностного слоя в результате холодной деформации

Линия для производства профнастила НС35, именуемая далее по тексту «Оборудование», предназначена для проката оцинкованного металла, в том числе с полимерным покрытием. Параметры обрабатываемого материала:

- рулонная холоднокатаная оцинкованная сталь для холодного проката с полимерным покрытием марок 08Ю, 08ПС, 08кп по ГОСТ Р 52146-2003; сталь оцинкованная для холодного проката с массой цинкового покрытия 100-275г/м<sup>2</sup>. С видами полимерного покрытия материала (металла) – полиэстер, пластизол, пурал, PVDF. Выбор покрытия зависит от климатических условий и климатических условий, с экономическим обоснованием. Режим работы линии – автоматический. На рисунке 11 представлена линия автоматического производства.

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 40   |



1- разматыватель рулонного металла; 2 - блок заходной; 3 - прокатный стан (станок для профнастила); 4 - гильотина; 5 - стол транспортно-приемный с выкатной платформой.

Рисунок 11 – Автоматическая линия для производства профнастила

В цехе прокатки профнастила оцинкованный рулон с полимерным покрытием устанавливается на разматыватель, где персонал цеха фиксирует начало рулона на заходном блоке, после запуска клетей прокатного стана, лист проходя последовательно через валки нужной формы принимает окончательную форму и выкатывается на транспортно-приемный стол до тех пор, пока не будет достигнута нужная длина (обычно от 5 до 8 м). После чего линия останавливается автоматической системой управления и производится отрез гильотиной. После чего цикл повторяется снова, до тех пор, пока не образуется стопка листов одинаковой длины с максимальной массой до 5 тонн.

Персонал склада визуально осматривает каждый лист на наличие дефектов (коробление, растрескивание покрытия, отклонение от размеров задаваемых станом и прочее). При отсутствии замечаний, подготавливают отчет ОТК и маркируют изделия.

Образовавшаяся стопка с помощью выкатной платформы удаляется из рабочей зоны стана, скрепляется и транспортируется на склад готовой продукции.

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 41   |



## 2. Расчетная часть.

Для выполнения задач эффективной технологии термообработки производим выбор термического оборудования.

Для проведения отжига заготовок необходимо их нагреть до  $732\text{ }^{\circ}\text{C}$ , соответствующей точке  $A_{c1}$ . Основное требование для нагрева заготовок – это производство рекристаллизационного (светлого) отжига по всему сечению рулона, для снятия наклёпа, образованного холодным прокатом на стане 2500, и получение нужной микроструктуры металла, обеспечивающей требуемые механические свойства (предел текучести, относительное удлинение) и технологические свойства. Так как образование окалины на поверхности рулонов недопустимо, отжиг необходимо проводить в защитной атмосфере, с содержанием азота  $N_2$  - 95 %, водорода  $H_2$  - 5 %, с максимальным содержанием кислорода 0,003%. С этими задачами хорошо справляются топливные колпаковые печи с защитной атмосферой.

### 2.1 Исходные и справочные данные.

Размеры печи, м:

$$D = 2,85 \text{ м};$$

$$h = 1,8 \text{ м}.$$

Характеристики рулона:

наружный диаметр рулона ( $D_p$ ) – 2,00 м;

внутренний диаметр рулона ( $d_p$ ) – 0,60 м;

высота рулона ( $h_p$ ) – 1,25 м;

количество рулонов в стопе ( $n_p$ ) – 1;

коэффициент заполнения рулона ( $\eta$ ) – 0,97.

Характеристики металла:

теплоемкость ( $C_m$ ) – 0,67 кДж/(кг·К);

плотность ( $\rho$ ) – 7850 кг/м<sup>3</sup>;

коэффициент теплопроводности ( $\lambda_m$ ) – 34,2 Вт/(м<sup>2</sup>·К);

|     |           |          |       |          |                                   |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|-----------------------------------|------|
|     |           |          |       |          | <b>22.03.02.2019.547.000.00ПЗ</b> | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                                   | 42   |

коэффициент эквивалентной теплопроводности в радиальном направлении  
( $\lambda_r$ ) – 7 Вт/(м<sup>2</sup>·К);

конечная температура – 732 °С;

допустимый перепад температур – 50 °С;

начальная температура – 60 °С.

Коэффициент излучения абсолютно черного тела ( $C_s$ ) – 5,77 Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>).

Степень черноты муфеля ( $\epsilon_m$ ) – 0,7.

Степень черноты рулона ( $\epsilon_p$ ) – 0,3.

Низшая теплота сгорания коксодоменного газа ( $Q_{нр}$ ) – 11,75 МДж/м<sup>3</sup>.

Коэффициент использования печи ( $k_{и}$ ) – 0,9.

Коэффициент заполнения ( $k_з$ ) – 0,8.

Кладка:

Внутренний слой 100 мм – шамотный легковес ШЛ-1

Наружный слой 80 мм – диатомит Д-500.

## 2.2 Расчет теплообмена под муфелем.

В методике расчета есть незначительные допущения, температуру муфеля принимают постоянной всё время процесса,

$$t_{\text{муф}} = t_{\text{кон}} + 10 = 732 + 10 = 742 \text{ °С.}$$

Диаметр муфеля

$$D_m = D_p + 0,35 = 2,00 + 0,35 = 2,35 \text{ м.}$$

Высота муфеля

$$H_m = h_p * n_p + 0,20 = 1,25 * 1 + 0,20 = 1,45 \text{ м.}$$

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 43   |

Приведенный коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>)

$$C_{np}^{назр} = C_s \times \left[ \frac{1}{\varepsilon_m} + \frac{D_m}{D_p} \times \left( \frac{1}{\varepsilon_p} - 1 \right) \right]^{-1} = 5,77 \times \left[ \frac{1}{0,7} + \frac{2,35}{2,00} \times \left( \frac{1}{0,3} - 1 \right) \right]^{-1} = 1,38$$

Средняя температура наружной боковой поверхности рулона, °С

$$t_{\bar{o}} = 0,9 \times t_{my\phi} = 0,9 \times 742 = 668$$

Расчетная температура газа, °С

$$t_z = 0,7 \times t_{my\phi} = 0,7 \times 742 = 520$$

Коэффициент теплоотдачи излучением от муфеля к наружной боковой поверхности рулона, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>)

$$\alpha_{\bar{o}}^{изл} = C_{np}^{назр} \times \frac{\left( \frac{t_z + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_{\bar{o}} + 273}{100} \right)^4}{t_z - t_{\bar{o}}} = 1,38 \times \frac{\left( \frac{520 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{668 + 273}{100} \right)^4}{520 - 668} = 33,35$$

Площади поверхностей, м<sup>2</sup>:

Боковой

$$F_{\bar{o}} = \pi \times D_p \times h_p \times n_p = 3,14 \times 2,00 \times 1,25 \times 1 = 7,85$$

Внутренней

$$F_{\bar{e}} = \pi \times d_p \times h_p \times n_p = 3,14 \times 0,60 \times 1,25 \times 1 = 2,355$$

Торцевой

$$F_m = \frac{\pi}{4} \times (D_p^2 - d_p^2) \times n_p = \frac{3,14}{4} \times (2,00^2 - 0,60^2) \times 1 = 2,86$$

Поверхности муфеля

$$F_m = \pi \times D_m \times H_m = 3,14 \times 2,35 \times 1,45 = 10,7$$

Действительные скорости защитного газа, м/с:

в конвекторных кольцах нижнего рулона

$$w_m = \frac{0,3 \times 12500}{3600 \times 2,86} = 0,36$$

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 44   |

во внутренней полости рулона

$$\varpi_{\sigma} = \frac{(1 - 0,3) \times 12500}{3600 \times 3,14 \times \frac{0,60^4}{4}} = 8,60$$

Коэффициенты теплоотдачи конвекцией определяем по графикам  $\alpha=f(\omega)$ , с учетом шероховатости поверхности, Вт/(м<sup>2</sup>·К):

$$\alpha_1 = 24,75$$

$$\alpha_B = 25,25$$

Коэффициент приведения

$$\chi = \frac{k}{k+1}$$

где k – коэффициент

$$k = \frac{\alpha_{\sigma} \times (F_m + 0,8 \times F_{\sigma})}{\alpha_m \times F_m + \alpha_{\sigma} \times F_{\sigma}} = \frac{25,25 \times (10,7 + 0,8 \times 2,355)}{24,75 \times 2,86 + 25,25 \times 2,355} = 2,41$$

$$\chi = \frac{k}{k+1} = \frac{2,41}{2,41+1} = 0,71$$

Средние приведенные коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К):

$$\bar{\alpha}_{\sigma} = \alpha_{\sigma}^{uzl} + \chi \times \alpha_{\sigma} = 33,35 + 0,71 \times 25,25 = 51,28$$

$$\bar{\alpha}_m = \chi \times \alpha_m = 0,71 \times 24,75 = 17,57$$

$$\bar{\alpha}_{\sigma} = \chi \times \alpha_{\sigma} = 0,71 \times 25,25 = 17,93$$

### 2.3 Расчет температурного поля в рулоне

Распределение температур в рулоне и определение времени нагрева для обеспечения допустимого интервала температур будем проводить методом последовательных приближений.

Принимаем, что коэффициенты теплопроводности в осевом и радиальном направлениях равны.

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 45   |

Числа Био:

$$Bi_1 = \frac{\bar{\alpha}_6 \times (D_p - d_p)}{2 \times \lambda_r} = \frac{51,28 \times (2,00 - 0,60)}{2 \times 7} = 5,13$$

$$Bi_2 = \frac{\bar{\alpha}_6 \times (D_p - d_p)}{2 \times \lambda_r} = \frac{17,93 \times (2,00 - 0,60)}{2 \times 7} = 1,79$$

Относительное положение экстремальной точки  $\mu$  определяется по графику 1, в зависимости от отношений диаметров и чисел Био:

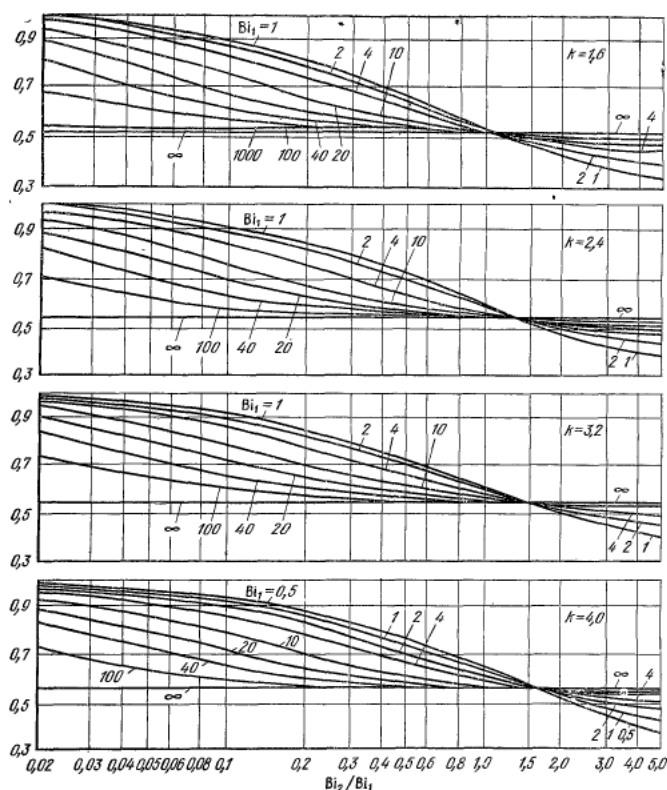


График 12 – Относительное положение экстремальной точки в полном цилиндре

$$k = \frac{D_p}{d_p} = \frac{2,00}{0,60} = 3,33$$

$$\frac{Bi_2}{Bi_1} = \frac{1,79}{5,13} = 0,35$$

$$\mu = 0,67$$

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 46   |

Коэффициент формы

$$\varphi_1 = \frac{\sqrt{0,5 \times (k^2 - 1) - \ln k}}{k - 1} = \frac{\sqrt{0,5 \times (3,33^2 - 1) - \ln 3,33}}{3,33 - 1} = 0,84$$

Расчетные толщины рулона в направлении, м:

Радиальном

$$S_r = \varphi_1 \times \mu \times \frac{(D_p - d_p)}{2} = 0,84 \times 0,67 \times \frac{(2,00 - 0,60)}{2} = 0,39$$

Осевом

$$S_z = 0,5 \times h_p = 0,5 \times 1,25 = 0,625$$

Коэффициенты теплопроводности в направлении, м<sup>2</sup>/ч:

Радиальном

$$a_r = \frac{3,6 \times \lambda_r}{c_m \times \eta \times \rho_m} = \frac{3,6 \times 7}{0,67 \times 0,97 \times 7850} = 0,0049$$

Осевом

$$a_z = \frac{3,6 \times \lambda_r}{c_m \times \rho_m} = \frac{3,6 \times 7}{0,67 \times 7850} = 0,0234$$

Числа Био и Фурье в направлении:

$$Bi = \frac{\alpha \times S}{\lambda_r} \quad Fo = \frac{a \times \tau}{S^2}$$

где  $\tau$  – время нагрева, ч;

в радиальном

$$Bi_r = \frac{\bar{\alpha}_o \times S_r}{\lambda_r} = \frac{17,93 \times 0,42}{7} = 10,76$$

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 47   |

$$Fo_r = \frac{a_r \times \tau}{S_r^2} = \frac{0,0049 \times \tau}{0,39^2} = 0,32\tau$$

В осевом

$$Bi_z = \frac{\bar{\alpha}_6 \times S_z}{\lambda_z} = \frac{17,93 \times 0,625}{7} = 1,6$$

$$Fo_z = \frac{a_z \times \tau}{S_z^2} = \frac{0,0234 \times \tau}{0,625^2} = 0,059\tau$$

Распределение температур в рулоне:

Относительная температура

$$\theta = \frac{t_{\text{м.уф}} - t}{t_{\text{м.уф}} - t_{\text{нач}}}$$

$$\theta = \theta_r \times \theta_z$$

Расчет распределения температур в рулоне представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Распределение температур в рулоне

| τ, ч | Fo <sub>r</sub> | Bi <sub>r</sub> | θ <sub>пов.г</sub> | θ <sub>extr.г</sub> | Fo <sub>z</sub> | Bi <sub>z</sub> | θ <sub>extr.z</sub> | θ <sub>пов</sub> | θ <sub>extr.</sub> | t <sub>пов</sub> , °C | t <sub>extr</sub> , °C | Δt, °C |
|------|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------------|------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|--------|
| 2    | 0,32            | 10,76           | 0,500              | 0,980               | 0,118           | 1,60            | 0,990               | 0,495            | 0,970              | 401                   | 81                     | 320    |
| 10   | 3,20            | 10,76           | 0,281              | 0,720               | 0,590           | 1,60            | 0,900               | 0,253            | 0,648              | 567                   | 301                    | 266    |
| 20   | 6,40            | 10,76           | 0,057              | 0,387               | 1,180           | 1,60            | 0,817               | 0,046            | 0,316              | 703                   | 524                    | 179    |
| 30   | 1,770           | 10,76           | 0,030              | 0,227               | 1,770           | 1,60            | 0,707               | 0,021            | 0,161              | 718                   | 624                    | 94     |
| 35   | 2,065           | 10,76           | 0,023              | 0,176               | 2,065           | 1,60            | 0,667               | 0,015            | 0,117              | 725                   | 659                    | 66     |
| 40   | 2,360           | 10,76           | 0,017              | 0,138               | 2,360           | 1,60            | 0,612               | 0,010            | 0,084              | 729                   | 679                    | 50     |
| 45   | 2,655           | 10,76           | 0,013              | 0,092               | 2,655           | 1,60            | 0,580               | 0,008            | 0,053              | 732                   | 703                    | 29     |

## 2.4 Определение количества печей (стендов) в отделении

Производительность отделения

$$P_{\text{отд}} = \frac{P}{360 \times 24} = \frac{1500000}{360 \times 24} = 173,61 \text{ т/ч}$$

Масса садки

$$G = 0,785 \times (D_p^2 - d_p^2) \times \rho_m \times n_p \times 10^{-3} = 0,785 \times (2,00^2 - 0,60^2) \times 7850 \times 1 \times 10^{-3} = 22,43 \text{ т}$$

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 48   |

Время нагрева и выдержки – 45 ч.

Принимаем время охлаждения 70 ч.

Технологический цикл  $\tau=45+70+5=120$  ч.

Производительность станда, т/ч

$$P_{cm} = \frac{P}{\tau} = \frac{173,61}{120} = 1,45$$

Число стандов в отделении определяется

$$N = \frac{P_{отд}}{P_{cm} k_u k_z} = \frac{173,61}{1,45 \times 0,9 \times 0,8} = 167$$

Число нагревательных колпаков

$$N_{колп} = \frac{N \times \tau_n}{\tau} = \frac{167 \times 45}{120} = 63$$

## 2.5 Тепловой баланс

Приход тепла

Химическое тепло топлива

$$Q_x = \frac{Q_n^p \times V_m}{3,6},$$

где  $V_T$  – расход топлива, м<sup>3</sup>/ч.

$$Q_x = \frac{Q_n^p \times V_m}{3,6} = \frac{11,75 \times V_m}{3,6} = 3,26V_m \text{ кВт}$$

Расход тепла

Нагрев металла

Тепло, необходимое для нагрева металла рассчитаем в начале и в конце цикла. С помощью этих данных можно определить тепловую мощность печи (при максимальном расходе газа в начале нагрева) и удельный расход топлива (по данным конца периода нагрева).

$$t_{нач} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

Теплоемкости металла в начальнй и последующий моменты нагрева,  $c_0=0,485$  кДж/(кг·К);  $c_2=0,486$  кДж/(кг·К);  $c_{45}=0,620$  кДж/(кг·К)

Начало нагрева (2 ч)

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 49   |



$$t_{m2} = 0,2 \times (t_{нов} + t_{extr}) = 0,2 \times (398 + 80) = 112 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$T_{yx} = 600 \text{ } ^\circ\text{C}$  – температура уходящих газов

$$Q_{m2} = \frac{G}{3,6 \times \tau} \times (c_2 \times t_{m2} - c_0 \times t_{m0}) = \frac{22,43}{3,6 \times 2} \times (0,486 \times 112 - 0,485 \times 60) = 78,92 \text{ кВт}$$

Конец нагрева (45 ч)

$$t_{m45} = \frac{1}{3} \times t_{нов} + \frac{2}{3} \times t_{extr} = \frac{1}{3} \times 725 + \frac{2}{3} \times 694 = 704 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$T_{yx} = t_{муф} + 120 + 50 = 730 + 120 + 50 = 900 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$Q_{m45} = \frac{G}{3,6 \times \tau} \times (c_{45} \times t_{m45} - c_0 \times t_{m0}) = \frac{22,43}{3,6 \times 45} \times (0,620 \times 704 - 0,485 \times 60) = 56,40 \text{ кВт}$$

Потери тепла через кладку определяем по формуле

$$Q_{кл} = q_{кл} \times F_{кл},$$

где  $q_{кл}$  – тепловой поток кладки,  $q_{кл} = 0,5 \text{ кВт/м}^2$  (определяем по графикам 1);  
 $F_{кл}$  – площадь поверхности кладки.

$$Q_{кл} = q_{кл} \times F_{кл} = q_{кл} \times (2 \times \frac{\pi \times D^2}{4} + \pi \times D \times h) = 0,5 \times (2 \times \frac{3,14 \times 2,85^2}{4} + 3,14 \times 2,85 \times 1,45) = 15,02 \text{ кВт}$$

Тепло уходящих газов

$$Q_{yx} = \frac{i_{yx}}{3,6} \times V_m,$$

где  $i_{yx}$  – энтальпия дымовых газов

$$i_{600} = 3,5 \text{ МДж/м}^3,$$

$$i_{900} = 4,5 \text{ МДж/м}^3$$

$$Q_{yx600} = \frac{i_{yx}}{3,6} \times V_m = \frac{3,5}{3,6} \times V_m = 0,97 V_m$$

$$Q_{yx900} = \frac{i_{yx}}{3,6} \times V_m = \frac{4,5}{3,6} \times V_m = 1,25 V_m$$

*Неучтенные потери*

Неучтенные потери принимаем 10%

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 50   |

$$Q_{\text{неучт}} = 0,1 \times (Q_{\text{м}} + Q_{\text{кл}})$$

$$Q_{\text{неучт}}^2 = 0,1 \times (78,92 + 15,77) = 9,45 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{неучт}}^{45} = 0,1 \times (56,46 + 15,77) = 7,22 \text{ кВт}$$

Тепловой баланс

Начало нагрева

$$3,26V_{\text{T}} = 78,92 + 15,77 + 0,97V_{\text{T}} + 9,45$$

$$V_{\text{T}} = 45,5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Тепловая мощность печи  $45,5 \times 3,26 = 148,25 \text{ кВт}$

Конец нагрева

$$3,26V_{\text{T}} = 56,46 + 15,77 + 1,25V_{\text{T}} + 7,22$$

$$V_{\text{T}} = 39,5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Удельный расход топлива

$$q = 3,6 \times \frac{Q_i \times \tau}{G} = 3,6 \times \frac{3,26 \times 39,5 \times 45}{22,43} = 930 \text{ кДж/кг}$$

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 51   |

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной работе рассмотрена технология производства профнастила НС-35 из стали 08кп.

Был обусловлен выбор стали, исходя из требований ГОСТа, рассмотрен процесс производства профнастила, начиная с выплавки в конвертерном цехе, изготовке слябов на МНЛЗ, рассмотрена схема прокатки на стане 2500 состоянии, назначен режим травления. Подробно рассмотрена термообработка рулонной стали в колпаковой печи, с последующим покрытием цинком и покраской на вальцовых установках полимерных покрытий. Рассмотрено явление наклепа на конечном прокате.

|     |      |          |       |      |                            |      |
|-----|------|----------|-------|------|----------------------------|------|
|     |      |          |       |      | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                            | 52   |

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карева, Н.Т. Чугуны и их термическая обработка: Учебное пособие / Н.Т. Карева. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2004.- 46с.
2. Самохоцкий, А.И. Технология термической обработки металлов / А.И. Самохоцкий, М.: Машгиз, 1962 - 252 с.
3. Корягин, Ю.Д. Тепловые и электрические расчеты термических печей / Ю.Д. Корягин: Учебное пособие. -2-е изд. – Челябинск Изд. ЮуРГУ, 2005-178 с.
4. Расчет нагревательных и термических печей. Справ. изд. Под ред. Тымчака В.М. и Гусовского В.Л. М.: Металлургия, 1983. 480с.
5. Интернет-страница <http://dlja-mashinostroitelja.info>
6. Третьяков А.В., Третьяков Е.М. «Дрессировка и качество тонкого листа»
7. Тепловые устройства в черной металлургии: Учебник для вузов / Филимонов Ю.П., Старк С.Б., Морозов В.А. - М.: Металлургия, 1974, 520 с.
8. Интернет-страница <https://www.prof777.ru/>
9. Интернет-страница <http://oprofnastile.ru/>

|     |           |          |       |          |                            |      |
|-----|-----------|----------|-------|----------|----------------------------|------|
|     |           |          |       |          | 22.03.02.2019.547.000.00ПЗ | лист |
| Изм | Лист<br>т | № докум. | Подп. | Да<br>та |                            | 53   |