

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Факультет «Энергетический»  
Кафедра «Теоретические основы электротехники»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
Ганджа Сергей Анатольевич  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
НЕПРЕРЫНОГО ОТЖИГА МЕТАЛЛА

ПОЯНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 13.03.02.2018.262 ПЗ ВКР

Руководитель проекта доц., к.т.н.  
Файда Евгений Леонидович  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Григорьев Владислав Алексеевич  
студент группы П-474  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Нормоконтролер  
Файда Евгений Леонидович  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ОТДЕЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ОТЖИГА МЕТАЛЛА .....	8
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	9
2.1. Выбор марок сталей.....	9
2.2. Влияние легирующих элементов.. ..	11
2.3. Техничко-экономическое обоснование выбранной технологии.....	12
2.4. Технологический процесс .....	13
2.5. Технологическая характеристика агрегата непрерывного отжига..	14
2.6. Состав и описание оборудования агрегата непрерывного отжига..	15
2.7. Технологические процессы в линии агрегата непрерывного отжига.	19
3 РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТДЕЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ОТЖИГА МЕТАЛЛА .....	28
3.1. Техничко-экономическое обоснование основного, дополнительного и вспомогательного оборудования. ....	28
3.2. Тепловой расчет термоагрегата.....	28
3.3. Расчет оборудования по нормам и укрупненным показателям.. ..	33
3.4. Расчет ленточных элементов сопротивления. ....	35
3.5. Расчет производственных площадей. ....	37
3.6. Определение количества и типов приборов контроля.....	37
4 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	41
4.1. Методы цинкования.....	41
4.2. Влияние химического состава стали, температуры и продолжительности цинкования на толщину, структуру и свойства покрытия..	42
4.3. Влияние химического состава расплава цинка на свойства цинковых покрытий.....	44

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

4.4. Современные агрегаты цинкования полосы. ....	45
4.5. Покрытие стали 08Ю методом горячего цинкования.....	47
4.6. Обработка хромированием погружных роликов.....	48
4.7. Факторы, влияющие на внешний вид покрытия. ....	50
4.8. Обработка хромированием погружных роликов.....	52
5 МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ.....	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	59
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	60

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## ВВЕДЕНИЕ

Термическое отделение для непрерывного отжига металла заканчивает собой комплексную технологию производства автолистовой стали. Из термического отделения готовая продукция поступает на автомобильные заводы страны и за рубеж.

Поступая к потребителю, автолист должен иметь определенные физические свойства, получаемые путем термической обработки. Строительство термического отделения непрерывного отжига стальных полос необходимо в системе листопрокатного производства, чтобы завершить цикл получения автолиста.

Защита металлических изделий от коррозии имеет большое народнохозяйственное значение, обеспечивая долговечность и надёжность изделий.

Горячее цинкование является наиболее распространённым способом защиты чёрных металлов от атмосферной и водной коррозии. Причем цинковое покрытие, нанесенное в расплавленном виде, металлизацией или электроосаждением, имеет одинаковую скорость коррозии. Слой сплава железа с цинком в покрытии, полученном горячим способом, корродирует гораздо медленнее, чем чистый цинк. Цинк образует анод в соединении со сталью и обеспечивает ее эффективную протекторную защиту на довольно большой площади основного металла, подверженного коррозии. Например, на участке стального листа с цинковым покрытием диаметром 12 мм не было обнаружено заметной коррозии под воздействием атмосферных условий даже по прошествии семи лет.

Сейчас эта тема очень актуальна, так как развитие машиностроения в стране не стоит на месте, но Россия значительно уступает западу по развитию данной технологии и по выпущенному там продукту. Поэтому чтобы конкурировать на мировом уровне необходимо увеличивать качество и при этом снизить потребление ресурсов для изготовления данного продукта, а также модернизировать механизацию производства.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 1 ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ОТДЕЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ОТЖИГА МЕТАЛЛА

Постройка такого отделения необходима для термической обработки холоднокатаного автолиста.

Большая часть тонколистовой продукции из полуспокойных и спокойных, малоуглеродистых кипящих сталей отжигают в рулонах в садочных колпаковых печах. Но этот способ отжига имеет ряд недостатков: неоднородность свойств и структуры отожженного металл; длительный производственный цикл; травмирование материалов при отжиге и недостаточная степень механизации и автоматизации процессов; неудовлетворительное качество продукции (в основном поверхности); большая цеховая площадь. К тому же при садочном отжиге очень трудно получать заданные стабильные свойства металла и приходится сортировать продукцию по результатам отжига.

Непрерывный отжиг не имеет перечисленных недостатков и выгодно отличается от садочного возможностью совмещения с отжигом всех операций отделки холоднокатаной полосы в одной высокопроизводительной автоматизированной поточной линии. Внедрение агрегатов непрерывного отжига и отделки низколегированной холоднокатаной полосы позволяет обеспечить: исключение многих вспомогательных и транспортных операций и травмирования металла; стабильность получения свойств металла высокого однородного качества по механическим свойствам, структуре; сокращение площади цеха и уменьшение обслуживающего персонала.

Термообработка в агрегате непрерывного отжига позволяет достичь уменьшение времени термообработки и повышение качества продукции непрерывности процесса прокатного производства.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

**2.1. Выбор марок сталей.** Для производства проката, обрабатываемого в линии агрегата непрерывного отжига, используют малоуглеродистые стали О8Ю, О8пс (ГОСТ 9045-80), О8пс (ГОСТ 16523-70), а также низколегированные конструкционные стали.

Отжигу в АНО подвергается холоднокатаный металл шириной 900–1500 мм, толщиной 0,35–2,0 мм,. Холоднокатаная полоса должна отвечать многим требованиям в отношении химического состава, механических свойств, микроструктуры, качества поверхности и точности размеров полосы.

Способность стали к вытяжке оценивается глубиной сферической лунки (по Эриксену). Для листов толщиной 0,4–2,0 мм глубина лунки равна соответственно: сложной вытяжки (СВ) – 8,8–12,2 мм; весьма глубокой вытяжки (ВГ) – 8,6–12,1 мм; весьма особо сложной (ВОСВ) – 9,3–12,5; особо сложной вытяжки (ОСВ) – 9,0–12,4 мм. При этом: твердость листов НВR 48–46; предел текучести  $\sigma_T = 206–186$  МПа (для категорий СВ-ВОСВ); нижний предел для предела прочности  $\sigma_B = 255$  МПа, верхний – снижается по категориям ВГ-ВОСВ от 363 до 323 МПа. Величина относительного удлинения  $\sigma_y$  при этом для минимальной толщины листа 0,5–1,5 мм составляет от 34 до 40%, для максимальной толщины 2–3 мм составляет 38–42%.

Помимо механических свойств, ГОСТ 9045 содержит требования к микроструктуре, детализованные по категориям вытяжки (величина ферритного зерна, балл цементита). Но на практике реальная структура холоднокатаного отожженного металла все более отдаляется от установленных показателей. После непрерывного отжига сталь О8Ю имеет ферритную основу с равноосными зернами, вместо структурно-свободного цементита образуются в основном участки высокодисперсного перлита. Микроструктура малоуглеродистых листов для глубокой вытяжки состоит в основном из феррита и цементита; равномерное распределение цементита в основной ферритной составляющей обеспечивает

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

хорошую склонность стали к вытяжке. Лучше всего, когда ферритные зерна в металле имеют вытянутую форму, что достигается в сталях для глубокой вытяжки, успокоенных алюминием. Зерна такой формы обеспечивает большее сопротивление металла, уменьшению толщины материала штамповки, что содействует достижению более сильной степени деформации.

Важно рассматривать требования к качеству поверхности. Поверхность листов должна быть гладкой, чистой и ровной без больших поверхностных повреждений, которые портят качество поверхности штамповки, и действуя как надрез, снижают прочность материала. Поверхность полосы может быть блестящей или матовой, но на ней не должны быть отпечатки и надавы от валков, плены, закатанная окалина, пузыри, трещины, раковины, складки, порезы и другие дефекты материала, а также неметаллические примеси.

Химический состав сталей О8ПС, О8Ю приведен в таблице 2.1 и соответствует ГОСТ 9045-80.

Таблица 2.1. - Химический состав сталей О8ПС, О8Ю (ГОСТ 9045-80)

Способность к вытяжке	Марка стали	Массовая доля элементов, %									
		С, не более	Mn	Al	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	N <sub>2</sub>
					не более						
ВОСВ	О8Ю	0,04	0,15-0,22	0,03-0,06	0,02	0,018	0,02	0,03	0,06	0,06	0,004
ОСВ	О8Ю	0,05	0,15-0,22	0,03-0,06	0,02	0,020	0,02	0,03	0,06	0,06	0,005
СВ	О8Ю	0,07	0,15-0,35	0,03-0,06	0,03	0,025	0,02	0,04	0,10	0,15	0,006
ВГ	О8Ю	0,07	0,15-0,25	0,03-0,06	0,03	0,025	0,02	0,04	0,10	0,15	0,006
ВГ	О8ПС	0,09	0,15-0,35	0,025-0,07	0,04	0,030	0,025	0,10	0,10	0,15	0,006

**2.2. Влияние легирующих элементов.** Влияние углерода. Углерод – это главный легирующий элемент, проявляющий влияние на свойства стали, в первую очередь механические, так как углерод выражает усиливающее действие на сталь, то для приобретения наилучших прочных и пластических свойств, довольствующих штамповке с различной категорией вытяжки, его содержание сдерживают.

Влияние марганца. Марганец поднимает прочностные свойства материала, поэтому его нахождение в сталях необходимо для связи серы в пластически деформируемые соединения марганца. Марганец увеличивает способность к глубокой вытяжке, но не стоит превышать верхнюю черту содержания марганца, в противном случае увеличивается прочность материала, что нежелательно.

Влияние алюминия. Алюминий включается с целью, чтобы имеющийся азот был объединён в нитриды. Повышение содержания алюминия в стали О8Ю от 0,02 до 0,07% влечёт к усилению прочностных свойств и раздроблению зерна феррита.

Все остальные элементы, наличие которых есть в стали О8Ю в незначительных количествах, попадают в основном из скрапа. Хром и никель в небольших количествах не влияют на свойства стали и являются примесями. Недопустимо содержание меди выше верхней черты, так как в стали встречается определенное количество олова, которое, в реакции с медью, плохо влияет на качество поверхности материала при прокатке.

Сера и фосфор являются нежелательными примесями, их присутствие строго контролируется. Сернистые примеси сильно портят механические свойства, наиболее вязкость и пластичность, снижают качество свариваемости коррозионную стойкость. Фосфор поднимает прочность и портит способность стали к вытяжке. Из газов вредное влияние оказывает азот, который действует на старение стали и образует неметаллические примеси. Содержание азота в стали О8Ю не должно быть выше 0,008%.

Механические свойства стали О8Ю представлены в таблице 2.2

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Таблица 2.2. - Механические свойства стали О8Ю

ГОСТ	Состояние поставки	$\sigma_{0.2}$	$\sigma_6$	$\sigma_4$	HRB
		МПа, не более		%, не менее	
9045-80	Лист термообработанный для сложной вытяжки (СВ)	205	255–350	34–38	48
	Для особо сложной вытяжки (ОСВ)	195	255–320	36	46
	Для весьма особо сложной вытяжки (ВОСВ)	185	255–320	40	46

Технологические свойства. Температура ковки, °С: начала 1250, конца 850. Свариваемость – сваривается без ограничений. Способы сварки: РДС, АДС под флюсом и газозащитной, КТС, АрДС. Флокеночувствительность – не чувствительна. Склонность к отпускной хрупкости – не склонна.

### 2.3. Технико-экономическое обоснование выбранной технологии.

Непрерывный отжиг листового проката имеет огромные технологические превосходства в отношении качества поверхности и однородности свойств металла, эффективности процесса. В начале технологии непрерывной термообработки тонкого листа лежат процессы нагрева и охлаждения полосы, позволяющие менять температурно-кинетические характеристики несоизмеримо обширнее, чем при колпаковом отжиге. Это гарантирует огромную эластичность управления структурой в критериях всевозможных режимов разупрочняющей и упрочняющей обработки для получения широких границ качеств, нередко недостижимых при отжиге листа в садке. Термическая обработка полосы в колпаковых печах считается самой долговременной операцией. Не считая того,

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

чистку плоскости и надлежащие за термической обработкой дрессировку и контроль свойства полосы делают порознь, собственно что настоятельно просит дополнительного времени, больших производственных площадей, операций по размотке и смотке полосы, а ещё перевозке рулонов от одного технологического участка к другому. Продолжительность всего процесса – подготовки поверхности полосы, термообработки, дрессировки и контроля составляет около десяти суток, при этом половина этого времени используется на термообработку. АНО совмещает все операции, используемые впоследствии холодной прокатки. К тому же сильно сокращается длительность термообработки, которая равна 10 минутам. Проведение отжига в колпаковых печах настоятельно просит большие производственные площади, огромны штат обслуживающего персонала, а ещё громоздкое транспортное оснащение. АНО занимает практически в половину меньше площади, у него ниже затрата электричества. Взамен отделения отжига конструкционного листа с 200–300 цитами колпаковых печей возможно ввести 2–3 линии непрерывной термообработки. Производственная мощность линии непрерывной термообработки равна 500000 т в год. Готовая продукция выделяется наибольшей равномерностью качеств по длине и ширине полосы, высочайшими механическими качествами, чистотой поверхности.

**2.4. Технологический процесс.** Маршрутная карта для технологического процесса изготовления стали О8Ю.

1. Выплавка стали в ККЦ-2 в сталеплавильных агрегатах – кислородных конвекторах.
2. Горячая прокатка слябов на широкополосном стане 2000 в ПГП.
3. Травление горячекатаной полосы в ПХПП.
4. Холодная прокатка травленной ленты в ПХПП.
5. Рекристаллизационный отжиг в печах «Стальпроект» в критериях ПХПП.
6. Дрессировка отоженной полосы на дрессировочном стане в ПХПП.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Технологический процесс изготовления в цехе холодной прокатки.

Технологический процесс выполняется в ПХПП по двум схемам: первая – отжиг выполняется в АНО, вторая – в колпаковых печах.

Рассмотрим первую схему:

1. Очистка от окалины горячекатаных полос на непрерывно-травильном агрегате.

2. Холодная прокатка горячекатаной травленной полосы на непрерывном пятиклетьевом стане бесконечной прокатки.

3. Обработка полосы во входной части АНО, которая включает в себя обрезку и сварку полос, очистку и промывку полосы в секции очистки № 1.

4. Термообработка холоднокатаной полосы, во время которой полоса поочередно протекает секцию нагрева, секцию выдержки, секцию газоструйного охлаждения, секцию повторного нагрева, секцию перестаривания, секцию ускоренного охлаждения и секцию воздушного охлаждения. Пред секцией повторного нагрева полоса проходит секцию очистки № 2.

5. Обработка полосы в выходной части АНО, а именно: дрессировка в дрессировочной клетке, порезка полосы и смотка в рулоны.

6. Отгрузка потребителю готовой продукции.

## **2.5. Технологическая характеристика агрегата непрерывного отжига.**

Агрегат непрерывного отжига предназначен для проведения светлого рекристаллизационного отжига холоднокатаной полосы из конструкционной стали в атмосфере азотного защитного газа (95% азота и 5% водорода).

Краткая техническая характеристика АНО:

1. Общая длина – 298,5 м.

2. Минимальная скорость полосы – 30 м/мин.

3. Максимальная скорость полосы: входная часть – 300 м/мин, средняя (печная) часть – 220 м/мин, выходная часть – 300 м/мин.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14



- приемные стеллажи;
- передвижные тележки;
- устройство для удаления обвязочной ленты;
- устройство для измерения диаметров рулонов;
- разматыватели;
- центрирующие устройства;
- прижимные, направляющие, текущие, центрирующие и натяжные ролики;
- гильотинные ножницы;
- устройство для уборки обрезки;
- сварочная машина;
- система очистки и промывки полосы;
- система отсоса паров;
- вентиляционная система;
- сушилка;
- входное петлевое устройство.

#### Оборудование печной части АНО

В состав оборудования входит:

- секция нагрева;
- секция выдержки;
- секция газового охлаждения;
- секция ускоренного охлаждения;
- секция повторного нагрева;
- секция перестаривания;
- секция воздушного охлаждения;
- система промывки и очистки полосы;
- система отсоса паров;

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- вентиляционная система;
- отжимные, центрирующие, натяжные ролики;
- система автоматического центрирования полосы;
- система сжигания природного газа;
- система подачи воздуха на горения;
- система контроля и регулирования технологических процессов;
- система защиты и сигнализации.

Все печные секции Агрегата непрерывного отжига предполагают собой систему, произведенную из газонепроницаемого кожуха, усиленного ребрами жесткости.

Секция нагрева работает для нагрева полосы до требуемой температуры. Каркас секции исполнен из листовой стали шириной 6 мм. Секция разбита на два блока. В качестве футеровки использованы теплоизоляционный плавный огнеупор, жаропрочный теплоизоляционный кирпич, керамическое волокно стекловолкнистые плиты. Секция содержит шесть зон нагрева. В качестве горючего применяется природный газ с калорийностью 8300 ккал/м<sup>3</sup>. Газ сжигается в радиантных трубах с помощью горелок. Общая численность труб – 217. Тепловая мощность секции 287·10<sup>5</sup> ккал/ч. Любая труба произведена из следующих конструктивных составляющих непроницаемого сварного кожуха, главной горелки, вспомогательной горелки и рекуператора. Для подготовительного нагрева (до 320° С) есть 217 рекуператоров. Отработанный газ вытягивается эжекторами и сквозь дымопроводы выбрасывается за пределы цеха. Воздух для горения серверуется с помощью трех воздуходувок.

Для транспортировки полосы в секции установлено 19 роликов, произведенных из хромовой стали. Диаметр бочки роликов 850 мм, длина бочки – 1900 мм. От перегрева ролики защищены экранами.

Секция выдержки служит для поддержания температуры полосы на уровне, достигнутом в секции нагрева. Кожух секции аналогичен кожуху секции нагрева.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Футеровка изготовлена из стекловатных плит, керамического волокнистого материала, плавленного огнеупора. Футеровка защищена от разрушения плитами нержавеющей жаропрочной стали шириной 1,5 мм. Секция обогревается 36-ю электронагревателями общей мощностью 940 кВт и разделена на две зоны нагрева. Для транспортировки полосы имеются 10 роликов.

Секция газового охлаждения работает для охлаждения полосы до температуры 500–600° С с помощью защитного газа, направляемого на полосу сквозь цилиндрические сопла. Применяемый газ вытягивается из секции в газопроводы с помощью четырех циркуляционных вентиляторов. Газопроводы оборудованы холодильниками защитного газа, при помощи которых отсасываемый из секции горячий газ охлаждается до температуры 200–400° С. В секции имеется три печных ролика для транспортировки полосы, а еще 18 электронагревателей суммарной мощностью 450 кВт, которые применяются для сушки и разогрева секции. На выходе из секции учтено уплотнение особой системы, формирующей гидродинамический натиск способом противотока азота.

Секция повторного нагрева работает для нагрева полосы до 200–500° С. Принцип работы и система секции подобны секции нагрева. Печных роликов – 9 штук, диаметр бочки 1400 мм, радиантных труб с горелками – 100 штук.

Секция перестаривания служит для постепенного охлаждения полосы с помощью охлаждающих труб из хромоникелевой стали. Сквозь трубы просасывается атмосферный воздух, который, нагреваясь, отбирает тепло от защитной атмосферы и от полосы. Количество труб – 28. Просасывание воздуха осуществляется с помощью четырех вентиляторов. В секции находятся 15 роликов с диаметром бочки 140 мм, длиной 1900 мм. Секция оборудована 14 смотровыми гляделками для слежения за полосой в печи.

Секция быстрого охлаждения работает для охлаждения полосы до температур, при которых будет исключено окисление поверхности полосы при ее выходе из секции. Охлаждение полосы выполняется с помощью защитного азотно-

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

водородного газа, циркулирующего через 10 холодильников. Примененный для охлаждения полосы защитный газ высасывается из секции с помощью 10 циркуляционных вентиляторов. Регулировка скорости охлаждения полосы выполняется методом запуска или же остановки вентиляторов. В секции присутствуют 10 печных роликов их хромоникелевой стали. Для контроля полосы есть 6 гляделок и телевизионный аппарат.

Секция воздушного охлаждения нужна для охлаждения полосы до температуры 20° С с помощью воздуха, вбираемого вентиляторами из окружающего пространства. Скорость полосы 220 м/мин. Скорость охлаждения полосы регулируется дистанционно вручную задвижками подачи воздуха. В секции есть 9 печных роликов с диаметром бочки 1400 мм и 10 вентиляторов.

#### Оборудование выходной части АНО

В состав оборудования выходной части входит:

- натяжное устройство;
- центрирующее устройство;
- выходное петлевое устройство;
- дрессировочная клеть;
- промасливающая машина;
- летучие ножницы;
- моталки;
- ленточные захлестыватели;
- тележки с подъемным столом;
- разгрузочные конвейеры;
- обвязочные машины;
- весы.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



## 2.7. Технологические процессы в линии агрегата непрерывного отжига.

### Обработка полосы во входной части АНО

Прокатанные на непрерывном пятиклетьевом стане холодной прокатки «2030» поплавно электромостовым краном рулоны ставят на загрузочные стеллажи № 1 и № 2 в позиции № 1. Вслед за этим рулоны телегами перемещают в позицию № 2, где делают удаление обвязочной ленты ручным методом, гарантирующим сохранность металла от повреждения, в том числе делают измерение внешнего диаметра. Данные измерений применяют для центровки рулонов по оси рулоноразматывателей при установке их на барабан. После измерения диаметра рулоны устанавливают на барабаны рулоноразматывателей и центрируют по оси линии отжига. Затем автоматом выполняется отбор переднего конца полосы при помощи датчика и определение, а непосредственно отделение его от рулона при помощи отгибателей. Передача конца рулона посредством направляющих роликов в правильную машину. Заправка рулонов на рулоноразматыватели № 1 и № 2 и дальнейшее обрабатывание (обрезка) концов полос выполняется по очереди при работе одного из рулоноразматывателей.

Обрезка переднего и попятного концов полос выполняется автоматом в сдвоенных гильотинных ножницах. Число резов обуславливается, отталкиваясь от длины некондиционных концевых зон холоднокатаного проката. Обрезанные концы полос с помощью уборочного аппарата следуют в короб для обреси.

Сварка полос выполняется на сварочной машине внахлест. Размер перекрытия концов полос 1,5–2,5 мм находится в зависимости от толщины свариваемых концов и уточняется автоматически от ЭВМ. Скорость сварки двухступенчатая – 6,6 м/мин и 10 м/мин. Пред сваркой концы полос центрируются с помощью центрирующего прибора и обрезаются на интегрированных ножницах для гарантии их параллельности. В случае если свариваемые концы отличаются друг от друга по ширине на 10 мм и больше, то выступающие углы должны быть обрезаны с помощью высечного прессы.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

После сварочной машины полоса поступает в установку обезжиривания, состоящую из ванны щелочного обезжиривания, щеточно-моечной машины № 1, ванны электролитического обезжиривания, щеточно-моечной машины № 2 и ванны промывки горячей водой. Для изготовления концентрированного моющего раствора применяется кристаллический метасиликат натрия ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Вместо него возможно применить растворы на базе моющих средств на подобии МС-8 и МС-15.

Приготовленный концентрированный моющий раствор насосами перекачивается к АНО в бак для сбережения щелочи. Для избежания кристаллизации раствора температуру в баке поддерживают в границах  $(60 \pm 5)^\circ\text{C}$ , а трубопровод моющего раствора промывается теплой водой после всякой подачи раствора. Концентрированный моющий раствор подается в циркуляционные баки агрегата, где разбавляется водой до рабочей концентрации, которая регулируется автоматом. Раствор с соответственной температурой и концентрацией насосами посылается в рабочие ванны на агрегате.

Между рабочими ваннами циркуляционным баком исполняется циркуляция смеси. Есть две системы циркуляции:

— система циркуляции № 1, состоящая из щелочной ванны и циркуляционного бака вместимостью  $25 \text{ м}^3$ ;

— система циркуляции № 2, состоящая из ванны электролитической очистки и циркуляционного бака вместительностью  $25 \text{ м}^3$ .

Очистка полосы начинается в щелочной ванне с погружения ее в раствор. Далее полоса поступает в щеточно-моющую машину № 1, где чистится с помощью щеток, на которые под давлением  $2,5 \cdot 10^5 - 3,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$  поступает вода через коллекторы. Вращение щеток соответственно должно совпадать с направлением перемещения полосы.

Очистка полосы в ванне электролитического обезжиривания выполняется в среде раствора метасиликата натрия или же моющих средств на подобии МС-8,

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

МС-15 с подачей тока на электроды. Сила тока желательна должна быть не меньше 2000 А. Расстояние между электродами – 150–200 мм. При поступлении на обработку каждого свежего рулона нужно делать переключение полярности тока.

Очистка полосы в щеточно-моющей машине № 2 выполняется аналогично щеточно-моющей машине № 1.

Окончательная промывка полосы после очистки производится в ванне горячей промывки способом струйной обработки и методом погружения. Для промывки и удаления щелочи используется умягченная вода, применяемая каскадно от ванны промывки до щеточно-моечной машины № 1, впоследствии вода сливается в дренажную емкость. Удаление влаги с поверхности полосы выполняется с помощью трех пар отжимных роликов.

В ваннах щелочного и электролитического обезжиривания массовая концентрация активной щелочности смесей должна быть не меньше 6 г/дм<sup>3</sup>. Температура смесей в ваннах должна быть (85±5) °С. Массовая концентрация механических примесей в обезжиривающих растворах в ваннах щелочного и электролитического обезжиривания должна быть не более 1 г/дм<sup>3</sup>. Корректировка состава растворов в рабочих ваннах Агрегата непрерывного обжига выполняется добавлением свежеприготовленной смеси из расходного бака.

#### Термическая обработка стали

Полоса, подвергаемая термической обработке в средней (печной) части агрегата непрерывного обжига, поочередно проходит секцию нагрева, выдержки, газового охлаждения, повторного нагрева, перестаривания, ускоренного и воздушного охлаждения.

В зависимости от типоразмеров полосы, скорости ее движения, а также режима термической обработки она греется в камере нагрева до температуры 700–850° С, потом при данной температуре проходит выдержку в секции выдержки. В секции газоструйного охлаждения полоса охлаждается до температуры 630–500° С. Остывшая полоса повторно греется в секции вторичного

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

нагрева до температуры 400–500° С. Вслед за тем в секции перестаривания с течением времени охлаждается до температуры 280–250° С и, попав в секцию ускоренного охлаждения, охлаждается до температуры, при которой невозможно окисление поверхности полосы на воздухе (меньше 100° С). В секции воздушного охлаждения полоса охлаждается до температуры на 5–7° С выше температуры воздуха в отделении, но не выше 40° С.

Температура полосы по секциям агрегата задается в зависимости от способности к вытяжке проката. Значения температуры полосы в зависимости от способности к вытяжке для стали О8Ю приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. - Температуры полосы различных категорий вытяжки для стали О8Ю

Способность к вытяжке	Температура, °С				
	Секция нагрева	Секция выдержки	Секция газового охлаждения	Секция повторного нагрева	Секция перестаривания
ВОСВ	850+20	850+20	550+10		
ОСВ	-10	-10	-50	440±20	320±30
СВ					
ВГ	700+50 -20	700+50 -20	500+20 -50	440±20	320±30

Таблица 2.4. - Температуры рабочего пространства в зонах секций нагрева и выдержки (режим «ВГ»)

Температура в секции нагрева, °С		Температура в секции выдержки, °С	
Зоны		Зоны	

1	2	3	4	5	6	Температура металла за 6 зоной, °С	1	2	Температура металла на выходе из секции, °С
630-720	680-720	720-800	800-850	800-850	800-900	700+50 -20	720-800	720-800	700+50 -20

Таблица 2.5. - Температуры рабочего пространства в зонах секций нагрева для режима ОСВ, ВОСВ, СВ

Зоны			Температура металла за 3-й зоной, °С	Зоны			Температура металла за 6 зоной, °С
1	2	3		4	5	6	
630-720	680-720	720-800	700+50 -20	850-880	850-880	870 -900	850+20 -10

Таблица 2.6. - Температура рабочего пространства в зонах секции выдержки для режима ОСВ, ВОСВ, СВ

Зоны		Температура металла на выходе секции выдержки, °С
1	2	
800+50 -20	800+50 -20	850+50 -20

Таблица 2.7. - Расчетные скорости транспортировки полосы в линии АНО при термической обработке стали О8Ю (ВОСВ, ОСВ, СВ), м/мин

Ширина полосы, мм	Толщина полосы, мм														
		0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
		не более													
1000	170	159	142	127	116	106	98	91	85	80	75	71	67	64	
1050	170	152	135	121	110	101	93	87	81	76	71	67	64	61	

1100	166	145	129	116	105	97	89	83	77	72	68	64	61	58
1150	158	138	123	111	101	92	85	79	74	69	65	62	58	53
1200	152	133	118	106	97	88	82	76	71	69	63	59	56	53
1250	146	127	113	102	93	85	78	73	68	64	60	57	54	51
1300	146	127	113	102	93	85	78	73	68	64	60	57	54	51
1350	135	118	105	94	86	79	73	67	63	59	56	57	50	47
1400	130	114	101	91	83	76	70	65	61	57	54	51	48	48
1450	126	110	98	88	80	73	68	63	59	55	52	49	46	44
1500	121	106	94	85	77	71	65	61	53	50	50	47	45	43
1550	117	103	91	82	75	69	63	59	51	48	48	46	43	41

Перед подачей защитного газа в печные секции их нужно продуть азотом. Подача защитного газа в печь выполняется при соблюдении надлежащих условий: выдержки и повторного нагрева должна быть не менее 500° С; температура секции нагрева температура в секциях газового охлаждения, перестаривания и быстрого охлаждения должна быть не менее 300° С. Для предотвращения взрыва в случае попадания воздуха в печную атмосферу при наличии в ней азото-водородного газа свечи накала обязаны быть непрерывно включены.

Измерение температуры полосы выполняется с помощью радиационных пирометров, поставленных на выходе из каждой секции печи. Управление температурным режимом выполняется автоматически от ЭВМ. Ручное управление применяется при настройке агрегата или при критическом изменении режима.

В качестве защитной атмосферы используется азотно-водородный газ с большей долей водорода от 3 до 5%. Для изготовления защитной атмосферы используется азот со степенью очистки 99,998%, осушенный до точки росы минус 50° С и водород, осушенный до точки росы минус 55° С. Давление защитного газа в печных секциях на подине должно быть 5–14 мм вод. ст. (49,0–137,2 Па).

Для удаления с поверхности полосы окисной пленки, возникающей при охлаждении полосы водой, производится травление в травильной ванне в растворе

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР					Лист
										25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

соляной кислоты с массовой концентрацией  $(5\pm 2)\%$ . Температура травильного раствора должна поддерживаться в границах  $20-35^\circ\text{C}$ .

Изготовление рабочего раствора соляной кислоты выполняется в циркуляционном баке из концентрированной кислоты. Раствор соляной кислоты в баке полностью заменяют, в случае если массовая концентрация общего железа в нем превышает  $15\text{ г/дм}^3$ .

Непромытая полоса, но уже протравленная, подвергается промывке прохладной водой в ванне холодной промывки. Промывка выполняется струйным способом и способом погружения. Для промывки используется техническая вода.

Промытая полоса поступает в ванну нейтрализации для удаления остатков соляной кислоты с ее поверхности. В качестве нейтрализующего раствора используется раствор метасиликата натрия с массовой концентрацией  $(3\pm 5)\text{ г/дм}^3$ . Температура раствора должна быть  $20-35^\circ\text{C}$ .

Далее полоса поступает в щеточно-моющую машину, где при помощи щеток под струей горячей воды выполняется удаление остатков раствора. Температура воды  $(80\pm 5)^\circ\text{C}$ . применяется вода после ванны горячей промывки.

Конечной операцией очистки полосы считается промывка в горячей воде способом погружения и способом струйной обработки. Температура воды  $(80\pm 5)^\circ\text{C}$ . Используется умягченная вода.

#### Обработка проката в выходной части АНО

Создание и регулировка натяжения на выходе из печной части агрегата осуществляется при помощи натяжного прибора № 2.

Выходной петлевой прибор нужен для обеспечения непрерывности работы головной и печной частей агрегата при временной остановке или же замедлении задней части линии во время перезаправки.

Дрессировочная клеть работает для совершенствования конечных качеств и свойств поверхности отожженной полосы. Дрессировка сухая. Наибольший диаметр рабочих валков – 390 мм, наименьший – 330 мм, длина бочки – 1750 мм.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Наибольший диаметр опорных валков – 1000 мм, наименьший – 940 мм, длина бочки – 1630 мм.

Клеть оборудована системами уравнивания рабочих и опорных валков роликами для сохранения линии прокатки, противоизгиба, устройством для перевалки опорных валков.

Величина обжатия находится в зависимости от категории вытяжки проката и его толщины. Регулировка обжатия выполняется при помощи системы автоматического регулирования вытяжки как при нормальной работе, так и при ускоренной или замедленной работе агрегата.

Для защиты проката от коррозии перед смоткой поверхность полосы смазывают на промасливающей аппарате. Масло наносится на обе стороны поверхности полосы. Смазывание металла проводится консервационным маслом «Феррокоут 8001». Не допускается присутствие на поверхности металла участков, несмазанных маслом.

Тянущие ролики подают полосы в летучие ножницы, которые в свою очередь нужны для обрезки полосы при переходе на иную моталку и для вырезки проб.

Намотка полос производится на двух моталках консольного типа, работающих попеременно. Масса сматываемого рулона – от 5 до 40 т. Качество смотки гарантируется с помощью системы центрирования полосы.

Телеги с подъемным столом нужны для съема рулонов с барабана моталок и перевозки их на загрузочные транспортеры. Для предупреждения распушивания рулонов при перевозке они должны быть обвязаны. Обвязывание рулонов выполняется металлической лентой при помощи обвязочной машины или вручную.

После упаковки и взвешивания рулоны маркируются. На рулоне указывается: марка стали; номер заказа, плавки, рулона; способность к вытяжке; размеры рулона; группа отделки поверхности; масса рулона; стандарт.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



### 3 РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТДЕЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ОТЖИГА МЕТАЛЛА

**3.1. Техничко-экономическое обоснование основного, дополнительного и вспомогательного оборудования.** Основным оборудованием термического отделения для термообработки холоднокатаного листа является агрегат непрерывного отжига. Печная часть агрегата включает многокамерную башенную печь отжига, установки и камеры ускоренного перестаривания и охлаждения полосы. Головная часть агрегата состоит из оборудования для разматывания рулонов, сварки концов полосы, химической очистки полосы, входного петлевого устройства, тянущих станций, устройств для регулирования натяжения и центрирования полосы. В целом агрегат обеспечивает поточное производство отожженной полосы шириной 900–1500 мм и толщиной 0,4–2,0 мм в рулонах весом до 50 тонн.

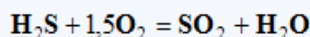
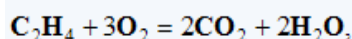
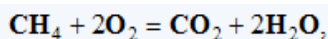
При примерно одинаковых капитальных затратах (колпаковые печи, отделочное оборудование, очистка перед отжигом, продольная и поперечная резка, установка и др.) строительство агрегата непрерывного отжига позволяет: реализовать высокую мощность стана «бесконечной» прокатки за счет выпуска высококачественной продукции; обеспечить гибкую работу цеха в зависимости от заказов; повысить выпуск готовой продукции (в том числе и первой группы отделки поверхности), поскольку весь металл подвергается очистке на потоке, уменьшается травмирование полосы за счет исключения транспортных операций, уменьшается количество некондиционного металла. К тому же строительство АНО позволяет сократить производительный цикл отделки продукции.

**3.2. Тепловой расчет термоагрегата.** Тепловой расчет термических печей сводится к определению расхода тепла, мощности печи, коэффициента полезного

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

действия. Топливом служит естественный газ с низкой теплотой сгорания  $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 8330, \text{ккал/м}^3$ .

Он представляет собой смесь газов  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ . В результате реакций горения



выделяется тепло, необходимое для создания нужной температуры в печи.

Прежде чем перейти к расчету теплового баланса, необходимо выбрать материал и толщину слоев отдельных элементов кладки рабочей камеры печи. Материал, толщина, качество выполнения кладки должны быть надежны и обеспечивать длительную службу при работе с максимально допустимой по условиям технологии температурой печи при минимуме затрат на содержание и эксплуатацию кладки.

Основой теплового расчета печи является составление теплового баланса, разграничивающего статьи прихода и статьи расхода тепла

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}} \quad (3.1)$$

Расходуемое тепло делиться на тепло, идущее на нагрев металла и потери тепла. Потери тепла включают в себя потери тепла через кладку и неучтенные потери.

Уравнение теплового баланса печи

$$Q_{\text{расх}} = Q_{\text{м}} + Q_{\text{кл}} + Q_{\text{неуч}}, \quad (3.2)$$

где  $Q_{\text{м}}$  – тепло, идущее на нагрев металла, кВт;

$Q_{\text{кл}}$  – тепло, теряемое в окружающее пространство через кладку, кВт;

$Q_{\text{неуч}}$  – неучтенные потери, кВт.

Расход тепла на нагрев металла

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_m = G / \tau_n (c_2 t_k - c_1 t_n), \quad (3.3)$$

где  $G$  – масса металла, кг;

$\tau_n$  – время нагрева, с;

$c$  – средняя удельная теплоемкость, кДж/(кг·К);

$t_k, t_n$  – конечная и начальная температуры металла, °С.

Неучтенные потери определяются

$$Q_{\text{неуч}} = 0,1 \times (Q_m + Q_{\text{кл}}). \quad (3.4)$$

Тепло, теряемое в окружающее пространство через кладку

$$Q_m = q \times F, \quad (3.5)$$

где  $F$  – площадь рабочего пространства печи, м<sup>2</sup>;

$q$  – плотность теплового потока, теряемого в окружающее пространство через кладку, Вт/м<sup>2</sup>.

Трудность расчета  $Q_{\text{кл}}$  связана с определением  $q$ , поэтому все расчеты  $q$  производились на ЭВМ.

Площадь рабочего пространства

$$F = 2 \times (a \times b + b \times c + a \times c), \quad (6)$$

где  $a$  – ширина печи, м;

$b$  – высота печи, м;

$c$  – длина печи, м.

Камера нагрева, повторного нагрева, выдержки, охлаждения, перестаривания имеют двухслойную стенку, состоящую из шамотного легковеса мулликоткремнеземистого волокна.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для первого слоя  $0,29 + 0,00026t, \text{Вт}/(\text{м} \times ^\circ\text{C})$ , для второго слоя  $0,29 + 0,00022t, \text{Вт}/(\text{м} \times ^\circ\text{C})$ . Третий слой равен нулю.

В результате подсчета получили:

$$\text{для } 950^\circ \text{C} = 7,6 \times 10^{-4}, t_1 = 623,5^\circ\text{C}, t_2 = 56,8^\circ\text{C}, q_1 = 293,57 \text{Вт}/\text{м}^2;$$

$$\text{для } 870^\circ \text{C} = 7,3 \times 10^{-4}, t_1 = 575,6^\circ\text{C}, t_2 = 56^\circ\text{C}, q_2 = 255,84 \text{Вт}/\text{м}^2;$$

$$\text{для } 780^\circ \text{C} = 4 \times 10^{-4}, t_1 = 521^\circ\text{C}, t_2 = 52^\circ\text{C}, q_3 = 215,99 \text{Вт}/\text{м}^2;$$

$$\text{для } 500^\circ \text{C} = 8,9 \times 10^{-4}, t_1 = 348^\circ\text{C}, t_2 = 41^\circ\text{C}, q_4 = 110 \text{Вт}/\text{м}^2;$$

$$\text{для } 950^\circ \text{C} = 7,4 \times 10^{-4}, t_1 = 219^\circ\text{C}, t_2 = 35^\circ\text{C}, q_5 = 52,45 \text{Вт}/\text{м}^2.$$

Определяем массу металла. Для секции нагрева толщина ленты  $a = 7 \times 10^{-4} \text{м}$ , ширина ленты  $b = 1,2 \text{м}$ , длина ленты  $l = 337,4 \text{м}$ . Объем полосы  $V = a \times b \times l = 0,283 \text{м}^3$ .

$$G_1 = \frac{0,283 \times 7800}{1} = 2207 \text{кг}$$

Для секции нагрева длина ленты  $l = 173,4 \text{м}$ , поэтому объем полосы  $V = 0,146 \text{м}^3$ .

$$G_2 = \frac{0,146 \times 7800}{1} = 1139 \text{кг}$$

Для секции нагрева толщина печи  $a = 19,2 \text{м}$ , ширина печи  $b = 16,6 \text{м}$ , длина печи  $c = 3,4 \text{м}$ , площадь рабочего пространства  $F = 880,13 \text{м}^2$ .

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_{\text{кл.н}} = q \times F = 293 \times 880,13 = 258400 \text{Вт} = 258,4 \text{кВт}$$

Для секции выдержки  $b = 19,2 \text{м}$ ,  $c = 8,3 \text{м}$ ,  $a = 3,4 \text{м}$ ,  $F = 504,7 \text{м}^2$ ,  $Q_{\text{кл.в}} = 129 \text{кВт}$

Для секции газового охлаждения  $b = 17,4 \text{м}$ ,  $c = 2,77 \text{м}$ ,  $a = 3,4 \text{м}$ ,  $F = 229,73 \text{м}^2$   
 $Q_{\text{кл.охл}} = 49,62 \text{кВт}$

$$Q_{\text{кл.И}} = Q_{\text{кл.н}} + Q_{\text{кл.в}} + Q_{\text{кл.охл}} = 258,4 + 129 + 49,62 = 437,0 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{м.И}} = \frac{2207}{90} \times (0,666 \times 1223 - 0,484 \times 283) = 16619,0 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{м.ИИ}} = \frac{1139}{90} \times (0,666 \times 1223 - 0,484 \times 283) = 8574,72 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{м}} = Q_{\text{м.И}} + Q_{\text{м.ИИ}} = 16619,0 + 8574,72 = 25137,0 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{неуч}} = 0,1 \times (16619,0 + 437) = 1705,6 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{расх.И}} = 16619,0 + 437 + 1705,6 = 18761,6 \text{кВт}$$

Для секции повторного нагрева  $b = 20,2 \text{м}$ ,  $c = 12,7 \text{м}$ ,  $a = 3,4 \text{м}$ ,  $F = 733,12 \text{м}^2$ ,  
 $Q_{\text{кл}} = 215,229 \text{кВт}$

Для секции перестаривания  $b = 20,2 \text{м}$ ,  $c = 17,87 \text{м}$ ,  $a = 3,4 \text{м}$ ,  $F = 975,71 \text{м}^2$ ,  
 $Q_{\text{кл}} = 107,679 \text{кВт}$

Для секции скоростного охлаждения  $b = 20,2 \text{м}$ ,  $c = 12,87 \text{м}$ ,  $a = 3,4 \text{м}$ ,  
 $F = 742,45 \text{м}^2$ ,  $Q_{\text{кл}} = 38,942 \text{кВт}$

$$Q_{\text{кл.ИИ}} = 83,942 + 107,679 + 215,229 = 361,85 \text{кВт}$$

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_{\text{неуч}} = 0,1 \times (8574,72 + 361,85) = 893,7 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{расх. II}} = 8574,72 + 361,85 + 893,7 = 9830,27 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{расх}} = Q_{\text{расх. I}} + Q_{\text{расх. II}} = 28698,9 + 9830,27 = 28529,17 \text{ кВт}$$

Коэффициент полезного действия

$$\eta = (Q_{\text{м}} / Q_{\text{расх}}) \times 100\% , \quad (3.7)$$

$$\eta = (25137,0 / 28529,17) \times 100\% = 68\%$$

$$P_{\text{расч}} = \sum Q_{\text{расх}} = 28529,17 \text{ кВт} , \quad (3.8)$$

$$P_{\text{уст}} = (1,25 - 1,5) \times P_{\text{расч}} ,$$

$$P_{\text{уст}} = 1,26 \times 28529,17 = 35947 \text{ кВт} . \quad (3.9)$$

### 3.3. Расчет оборудования по нормам и укрупненным показателям.

Расчет основного оборудования производится на основании производственной программы, спроектированного технологического процесса термической обработки, режима работы отделения и фонда времени оборудования. Расчет дополнительного и вспомогательного оборудования ведется аналогично.

Номинальный фонд времени – это количество часов в году в соответствии с режимом работы, без учета потерь

$$\Phi_{\text{н}} = [T_{\text{к}} - (T_{\text{в}} + T_{\text{п}})] \times h \times S , \quad (3.10)$$

где  $\Phi_{\text{н}}$  – номинальный годовой фонд времени;

$T_{\text{к}}$  – число календарных дней;

$T_{\text{в}}$  – число выходных дней;

$T_{\text{п}}$  – число праздников;

$h$  – число рабочих дней в смене;

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$S$  – число смен в сутки.

Так как трехсменный режим работы непрерывен, то  $T_B = 0$ ,  $T_H = 0$ .

$$\Phi_H = 365 \times 8 \times 3 = 8760 \text{ ч} .$$

Действительный (расчетный) фонд времени равен тому времени, которое может быть полностью использовано для производства. Величина этого фонда времени равна номинальному фонду с вычетом потерь времени на простои оборудования, связанные с его ремонтом и наладкой

$$\Phi_D = \Phi_H - (t_s + t_l) , \quad (3.11)$$

где  $t_s$  – технические простои, ч;

$t_l$  – технологические простои, ч.

Обычно сумма этих потерь принимается от 4 до 12% от номинального фонда времени. Принимаем эту сумму равной 10%.

$$\Phi_D = 8760 - 0,1 \times 8760 = 7884 \text{ ч} .$$

В основу расчета по укрупненным показателям принимается удельная (часовая) производительность печей. Часовая производительность оборудования  $Q = 74630$  кг/ч.

Задолженность оборудования, то есть время, необходимое для термической обработки изделия заданной программы

$$Z = W / Q , \quad (3.12)$$

где  $W$  – годовая программа, кг.

$$Z = 40 \times 10^7 / 74630 = 5359,7 \text{ ч} .$$

Количество единиц оборудования определяется по формуле

$$P_p = Z / \Phi_D , \quad (3.13)$$

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Pi_p = 5359,7 / 7884 = 0,67$$

Полученное количество единиц оборудования округляется до целого числа, которое называется принятым числом единиц оборудования  $\Pi_n = 1$  шт.

Коэффициент загрузки

$$K_3 = (\Pi_p / \Pi_n) \times 100\% \quad (3.14)$$

$$K_3 = (0,67 / 1) \times 100\% = 67\%$$

### 3.4. Расчет ленточных элементов сопротивления.

Рассчитать нагреватели для печи, включенной в трехфазную сеть, соединение звездой,  $U_n = 380\text{В}$ ,  $P_n = 30\text{кВт}$ ,  $t_{\text{раб}} = 950^\circ\text{С}$ .

Мощность одного электронагревателя  $P_\phi = P_n / 3 = 30 / 3 = 10\text{кВт}$ . Фазовое напряжение на концах нагревателя  $U_\phi = U_n / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220\text{В}$ . Сила тока,

проходящего через нагреватель  $I_\phi = 10^3 \times P_\phi / U_\phi = 10^3 \times 10 / 220 = 45,5\text{А}$ .

Сопротивление электродвигателей

$$R_\phi = U_\phi^2 / (10^3 \times P_\phi) = 220^2 / (10^3 \times 10) = 4,84\text{Ом}$$

Материал, из которого изготавливают электродвигатели, выбираем, учитывая температуру. Возьмем Х20Н80-ТЗ.

Предположительно выберем толщину ленты  $a = 2$  мм, ширина ленты  $b = 25$  мм,  $m = b / a = 12$  мм.

Выбираем удельную поверхностную нагрузку  $\nu = 0,8 - 1,0\text{Вт/см}$ . Выбираем удельное сопротивление  $\rho = 1,31\text{Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$  и  $j$ -плотность  $\gamma = 8,4\text{г/см}^3$ .

$$a = \sqrt[3]{10^5 \cdot P_\phi^2 \times \rho / (2 \times m \times (m + 1) \times U_{\text{ср}}^2 \times \nu)} =$$

$$= \sqrt[3]{10^5 \times 10^2 \times 1,31 / (2 \times 12 \times (12 + 1) \times 220^2 \times 0,8)} = 0,987 \text{ мм.}$$

Выбираем ленту  $a = 1$  мм и шириной  $b = 12$  мм, так как  $m = b / a = 12$  мм.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Длина одного нагревателя (всего 407 штук)

$$l = R_{\phi} \times a \times b / \rho = 4,84 \times 1 \times 12 / 1,31 = 44,34 \text{ мм.}$$

Длина нагревателей  $l_{\text{общ}} = 407 \times 44,34 = 18044,7$

Масса 407 нагревателей

$$c = a \times b \times l_{\text{общ}} \times \nu \times 10^{-3} = 1 \times 12 \times 18044,7 \times 8,4 \times 10^{-3} = 1818,9 \text{ кг}$$

Проверим поверхностную нагрузку с допустимой, видим, что она находится в пределах с допустимой ( $\nu = 0,8 - 1,0$ ) для выбранного нихрома Х20Н80-Т3 при рабочей температуре  $950^{\circ} \text{C}$ .

Ленточные элементы сопротивления располагаются обычно зигзагами на стенках, своде и поде печи.

Расстояние внутри зигзагов  $D$  принимают не менее ширины ленты  $10-25$  мм, чаще  $15-25$  мм. Высоту зигзагов  $B$  выбирают  $150-500$  мм при вертикальном расположении на стенках печи и  $100-200$  мм при горизонтальном расположении на своде и в поде печи.

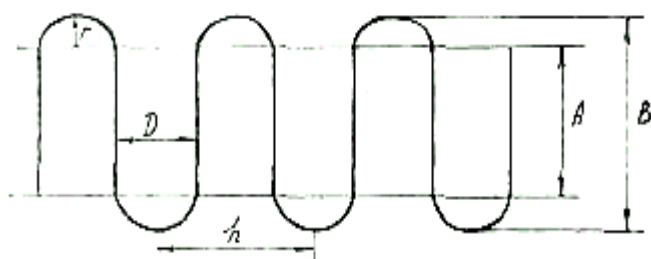


Рисунок 3.1. - Схема ленточного элемента сопротивления:

$D$  – расстояние внутри зигзагов;  $B$  – высота зигзагов;  $A$  – высота зигзага между центрами закругленной ленты;  $h$  – высота зигзага

При больших размерах печи ленточные нагреватели располагают в 2–3 ряда.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

**3.5. Расчет производственных площадей.** На металлургических заводах для размещения оборудования термообработки приходится выбирать пролеты, шаг колонны и конструкцию здания, считаясь с конструкцией основных металлургических цехов.

Расчет производственных площадей термического отделения производится исходя из размеров агрегата.

Общая длина агрегата равна 300 м. Оставляя на проезды с каждой стороны по 3 м, получаем, что общая длина отделения равна  $300 + 3 + 3 = 306$  м. Расстояние между колоннами 6 м, поэтому длина отделения должна быть кратна шести:  $306 / 6 = 51$  колонна. По длине цеха расположена 51 колонна.

Расстояние от стены до агрегата 1,5 м, ширина проезда 4 м, поэтому ширина отделения равна  $3,5 + 3 + 4 + 1,5 + 3,5 + 3 + 4 + 1,5 = 24$  м.

Высота здания принимается 30 м. Общая площадь отделения соответственно  $S_{пл} = 24 \times 306 = 7776 \text{ м}^2$ .

Объем отделения  $V_{отд} = 7776 \times 30 = 233280 \text{ м}^3$ .

Общий грузопоток осуществляется в одном направлении.

**3.6. Определение количества и типов приборов контроля.** При обработке металла в АНО контролируется:

- качество выходящих рулонов и соответствие их заданию на обработку;
- состав и давление в печах защитного газа;
- качество очистки полосы;
- температура по зонам печи;
- температура по секциям печи;
- содержание кислорода в защитном газе;
- наличие внутренних и поверхностных дефектов полосы;

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

- толщина полосы;
- механические свойства полосы;
- масса готовых рулонов.

Качество готовой продукции определяется приборами неразрушающего контроля, установленными в линии АНО и подключенными к ЭВМ.

Контроль качества поверхности полосы производится автоматизированным оптическим дефектоскопом «Дефектофло» за исключением, когда маркировочная машина «Дефектофло» определяет суммарную длину участков полосы с недопустимыми дефектами на верхней и нижней поверхности.

Результаты контроля автоматически распечатываются на протоколе качества выходного поста АНО в метрах длины полосы, а также выводится на цветной дисплей.

Контроль механических свойств полосы производится магнитостатическим методом.

Внутренние дефекты полосы контролируются ультразвуковым дефектоскопом. Он включается при производстве заказов на продукцию, контролируруемую, контролируемую ультразвуком.

При неисправности дефектоскопа контроль качества поверхности производится визуально.

При неисправности твердомера и при отжиге без дрессировки, механические испытания производятся прямым методом в лаборатории механических испытаний.

При прохождении через АНО полосы с грубыми дефектами поверхности (складки, рваная кромка) оператор управления выводит из зоны контроля все приборы неразрушающего контроля и вновь вводит их в работу после восстановления нормальной формы полосы.

Шероховатость полосы и ее механические свойства определяются в лаборатории механических испытаний.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 3.1. - Перечень средств измерений, используемых в процессе непрерывного отжига

Измеряемый параметр	Наименование средств измерений	Пределы измерения	Класс точности (цена деления)
1	2	3	4
Размер рулона	Рулетка	0–2500 мм	1 мм
Толщина полосы	Микрометр	0–25 мм	0,01 мм
Ширина полосы	Рулетка	0–2000 мм	1 мм
Масса рулона	Весы	25000–5000 0 кг	10 мм
Скорость полосы в линии	Таховольтметр	0–350 м/мин	10 м/мин
Сила сварочного тока	Амперметр	0–1250 А 0–2500 А	50 А 100 А
1	2	3	4
Температура моющего раствора	Термометр сопротивления, логометр	0–100° С	1
Давление воды в ШММ	Манометр технический	0–10 кгс/см <sup>2</sup>	2,5
Температура промывной воды	Термометр сопротивления, логометр	0–100° С	1
Объемная доля водорода в защитном газе	Газоанализатор	0–50 ppm	1,5

Давление защитного газа в печных секциях	Напоромер	0–30 мм вод.ст	1,5
Объемная доля кислорода в азоте	Газоанализатор	0–50 ppm	2
Объемная доля кислорода в печных секциях	Газоанализатор	0–50 ppm	5
Влажность защитной атмосферы (точка росы)	Влагомер	-40–60° С	2
Температура по зонам печи	Преобразователь термоэлектрический, показывающий регулятор	0–1000° С	10° С
Температура полосы по секциям печи	Пирометр	400–900° С 200–500° С	15° С 10° С
Температура травильного раствора	Термометр сопротивления, показывающий регулятор	0–100° С	1
Массовая доля концентрации травильного раствора	Измеритель концентрации, показывающий регулятор	0–100%	±3° С
Объемная доля кислорода в водороде	Газоанализатор	0–50 ppm	2
Шероховатость полосы	Профиломер	0,01–30 мкм	0,01 мкм

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР

Лист

40

## 4 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

**4.1. Методы цинкования.** Весомую роль в решении задач по увеличению срока службы металлопродукции играют защитные покрытия, внедрение которых разрешает прирастить стойкость и долговечность стальных изделий и считается одним из действенных путей понижения утрат металла от коррозии.

Из металлических покрытий в практике более обширно используют цинковые. Физико-химические качества цинка, условная простота технологии и оснащения для нанесения цинковых покрытий разрешает успешно использовать их для защиты металлоизделий от коррозии.

По размеру и номенклатуре защищаемых от коррозии продуктов цинковому покрытию нет равных среди остальных металлических покрытий. Это обуславливается разнообразием технологических процессов цинкования, их условной простотой, возможностью широкой механизации и автоматизации, высочайшими технико-экономическими показателями.

В реальное время есть разные способы, методы и приемы нанесения цинковых покрытий на стальные и чугунные продукты. При их систематизации и выявлении физико-химической сущности следует исходить из механизма образования покрытий. Основываясь на данном принципе можно отметить следующие основные способы нанесения цинковых покрытий: диффузионный, металлизационный, электролитический,

Диффузионный способ образования цинковых покрытий представляет собой процесс, происходящий при высоких (380–850° С) температурах и основанный на диффузии.

Цинк отвечает требованиям, важным для образования диффузионных покрытий на железе и его сплавах, растворимость цинка в железе при 20° С составляет 6% (по массе). Диффузионный способ нанесения цинковых покрытий может осуществляться разными методами. При этом нужно принимать во внимание физико-химическую характеристику активной фазы (или среды), содержащей диффундирующий элемент (цинк). В случае если активной фазой, содержащей диффундирующее вещество и участвующей в его переносе к

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

обрабатываемой поверхности, является растворимый цинк, то говорят о жидкофазном методе цинкования. В промышленности этот метод получил название «горячее цинкование». При диффузионном цинковании жидкофазным методом (в расплаве цинка) случается взаимодействие стали с расплавленным цинком, в результате чего на поверхности образуются железоцинковые соединения. При этом изменяются химический состав и структура поверхностного слоя стали.

Диффузионное цинковое покрытие, приобретенное в расплаве цинка, состоит из нескольких железоцинковых фаз, находящихся именно на основном металле, и слоя цинка. Слой цинка, по составу, который в основном соответствует расплаву, появляется при извлечении изделия из ванны цинкования. Возможность образования тех или иных слоев железоцинковых соединений в покрытии находится в зависимости от режима цинкования, состава и структуры цинкуемого металла, а также от состава расплава цинка. Толщина покрытия для сталей подобного химического состава при одинаковом состоянии их поверхности зависит от длительности цинкования, его состава, температуры расплава цинка, а также от скорости вытаскивания цинкуемого изделия при условии аналогичного метода извлечения.

В случае если расплав цинка достаточно чистый, подавляющих рост железоцинковых соединений, то их толщина зависит от продолжительности цинкования и температуры расплава и не зависит от скорости вытаскивания. Толщина слоя цинка обоснована скоростью извлечения изделия из расплава, температуры расплава и не зависит от длительности цинкования.

#### **4.2. Влияние химического состава стали, температуры и продолжительности цинкования на толщину, структуру и свойства покрытия.**

Химический состав стали оказывает большое воздействие на связь жидкого цинка со сталью. Наличие в стали отдельных составляющих имеет возможность значительно поменять характер этого взаимодействия, вызывая изменение строения, толщины и свойств образующегося цинкового покрытия.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Нередко цинкованию подвергают низкоуглеродистую сталь, содержащую: 0,05–0,24% углерода; 0,01–0,37% кремния; 0,2–0,65% марганца; 0,02–0,06% серы; 0,02–0,07% фосфора; 0,1–0,3% меди; 0,1–0,3% хрома; 0,1–0,3% никеля.

Эти составы отвечают составам Ст. 3, 08 (всех степеней раскисления), стали 10, стали 20, из которых изготавливают лист, полосу, трубы проволоку и другие металлоизделия.

Воздействие углерода. Углерод считается важным элементом, определяющим как структуру, так и все свойства стали, ее прочность и поведение при эксплуатации. Он может влиять на реакцию взаимодействия стали с жидким цинком и в конечном итоге на состав, толщину и свойства образующегося цинкового покрытия. В заключении можно отметить, что углерод ускоряет растворение стали только тогда, когда он присутствует в составе зернистого или пластинчатого перлита. В случае если углерод находится в виде троостита, цементита, сорбита, или графических включений, то заметного изменения скорости растворения стали в жидком цинке по сравнению с чистым железом не наблюдается. Согласно Редикиру и Фрие, при схожих критериях цинкования толщина слоя цинкового покрытия на углеродистых сталях, содержащих > 0,15% углерода, возрастает приблизительно на 10% по сопоставлению со сталями, содержащими < 0,1%.

Воздействие режима цинкования. Температура цинка и длительность процесса цинкования считаются важными причинами, с помощью которых можно значительно воздействовать на процесс жидкофазного цинкования, толщину, структуру и качества образующегося цинкового покрытия. Одним из решающих моментов, определяющих качество покрытия (его структуру, наружный вид, качества), считается температура цинкования. Отметим, что при температурах до 490° С и выше 520° С на стали появляются плотные, однородные, отлично сцепленные с ней железоцинковые слои. В интервале 490–520° С на стали появляются пористые, плохо сцепленные с поверхностью, железоцинковые слои. Увеличение температуры цинкования и наращивание длительности выдержки изделия в расплаве цинка приводит к получению толстых покрытий. Пластичность этих покрытий невысокая и при изгибе, ударе они просто откалываются,

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43



включения железоцинковых кристаллов в слое чистого цинка усугубляют также коррозионную стойкость покрытия.

**4.3. Влияние химического состава расплава цинка на свойства цинковых покрытий.** Химический состав расплава цинка оказывает большое воздействие на процесс цинкования и качества возникающих покрытий. Как правило в промышленных условиях цинкование производят в расплаве цинка, содержащем примеси всевозможных металлов. Примеси имеют шансы попадать в расплав цинка несколькими способами:

1. В процессе цинкования по причине частичного растворения цинкуемых стальных изделий и применяемого погружного оборудования .

2. С цинком, применяемым для изготовления расплава (примеси свинца, железа, меди и другие).

3. В результате особого введения в расплав различных элементов (алюминий, никель, свинец и другие) с целью усовершенствования процесса цинкования и качества образующихся покрытий.

Наличие в расплаве цинка всевозможных составляющих может по разному воздействовать на физико-химические качества как расплава цинка (температуру плавления, вязкость, поверхностное натяжение), так и получаемых цинковых покрытий (толщину, структуру, коррозионную стойкость). Из всего обилия составляющих, которые могут присутствовать в расплаве цинка на промышленных агрегатах цинкования, следует выделить прежде всего железо и алюминий. Как раз содержание этих элементов в расплаве цинка во многом определяет структуру и качество возникающих покрытий, их прочность сцепления со стальной основой.

Воздействие алюминия. Алюминий считается одной из добавок нарочно вводимых в расплав цинка. В практике цинкования давным-давно было известно, что введение в расплав цинка небольших количеств алюминия повышает качество процесса цинкования (уменьшается его окисление, увеличивается жидкотекучесть расплава цинка) и содействует получению равномерных сверкающих цинковых покрытий, которые обладают неплохой гибкостью. Расплав цинка, имеющий

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

добавку алюминия, намного меньше окисляется, потому что на его поверхности появляется защитная пленка из оксида алюминия, которая вместе с оксидом цинка, формирует шпинели, предохраняющие расплав от окисления. Появление подобной пленки обосновано большим сродством алюминия к кислороду, чем цинка.

Влияние железа. Железо – это вредоносная примесь в процессе цинкования и нужно стремиться к тому, чтобы содержание железа в расплаве цинка было как можно меньшим. В расплаве цинка всегда есть какое-то количество железа. Оно попадает в расплав ключевым образом в результате реакции жидкого цинка с поверхностью цинкуемого продукта, находящимися на нем слоями железа, а также с частями погружного оборудования и корпусом ванны цинкования. С наращиванием содержания железа в расплаве сильно возрастает толщина покрытия, а в верхних слоях его наблюдаются включения, которые представляют собой железоцинковые соединения. Поэтому снижается пластичность, стойкость к коррозии и внешний вид покрытия (становится шероховатым). Воздействие на растворение железа иных составляющих (свинца, кадмия), используемых в качестве добавок в расплав цинка на непрерывных агрегатах, практически незаметно.

Основное назначение добавки свинца в расплав цинка – понижать его вязкость и наращивать смачиваемость, также предоставлять образование узоров кристаллизации цинка. С возрастанием содержания алюминия в расплаве цинка в пределах 0–0,2% (без добавки свинца) смачиваемость поверхности полосы цинком сильно уменьшается. Добавка в расплав цинка 0,2% свинца гарантирует неплохую смачиваемость, которая почти не зависит от присутствия алюминия в расплаве. Наконец, при отсутствии цинка, свинца увеличить степень поверхностного натяжения возможно за счет ведения процесса цинкования в области больших температур (не менее 495° С).

**4.4. Современные агрегаты цинкования полосы.** В мировой практике цинкования полосового проката применяются всевозможные модификации способов. На ряду иностранных и отечественных агрегатов используется комбинированный метод подготовки поверхности – чисто сендзимировский метод

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

подготовки поверхности обезжириванием, а иногда травлением. При этом применяется как химическая, так и электрохимическая обработка полос. Последняя обоснована увеличенной загрязненностью поверхности полос, требующей более длительного времени обработки. В настоящее время преимущественно стали распространены агрегаты горячего цинкования двух типов: по способу «Юнайтед стейтс стил» и модернизированному способу «Армко-сендземир». В последнем в качестве начального материала для цинкования используется холоднокатаная неотожженная стальная полоса. На нее плоскости имеются остатки прокатной смазки, а еще естественная оксидная пленка. Для подготовки поверхности полосы к цинкованию ее нагревают в печи с окислительной атмосферой до 350–500° С. При этом загрязнения органического происхождения сгорают, а на поверхности стали вырабатывается слой оксида железа толщиной до 3 мкм. Для активации поверхности стали полосу нагревают в печи с восстановительной азотно-водородной атмосферой при большом содержании сухого водорода (75%). Как правило термическую обработку полосы проводят при температуре 750–950° С с охлаждением до 450° С перед погружением в ванну с расплавом цинка.

Агрегаты цинкования полосы разделяются на входную, технологическую и выходную части. После подготовки поверхности и тепловой обработки стальная полоса поступает в ванну с расплавленным цинком. Образование покрытия на полосе происходит в период прохождения ее сквозь ванну цинкования. Из особенностей непрерывного горячего цинкования стальной полосы можно отметить большую скорость нанесения покрытия. Длительность контакта полосы с расплавом цинка при скорости движения полосы 0,5–3 м/с составляет 1–6 с. На современных агрегатах применяют керамические ванны с индукционным обогревом. Эти ванны имеют долгий срок службы, обеспечивают равный нагрев расплава цинка, что содействует однородному распределению в нем легирующих элементов, позволяет изменять температуру цинкового расплава в широком диапазоне (440–520° С и более). При применении керамических ванн довольно значительно уменьшается количество изгари и гартцинка. Кроме этого, при постоянной замене индукционных отъемных нагревателей не требуется полного

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

выкачивания расплава цинка из ванны. Керамическая ванна состоит из сварной металлической конструкции, футерованной внутри огнеупорными материалами. Ширина футеровки стенок ванны примерно 500 мм, длина 650 мм. Керамическая ванна на агрегате горячего цинкования НЛМК вмещает 240 тонн цинка.

Узел струйного регулирования толщины покрытия.

После выхода полосы из ванны цинковая ведется регулирование толщины слоя нанесенного покрытия. В настоящее время регулировка толщины покрытия на агрегатах непрерывного горячего цинкования стальной полосы производится струйным методом. Оно работает так, что газ под большим давлением подают на поверхность полосы, выходящей из расплава цинка, сквозь щелевые сопла, выставленных с обеих сторон полосы. Струйный поток газа мешает свободному выносу жидкого цинка на поверхностях передвигающейся полосы, этим самым контролируя толщину слоя покрытия. В качестве рабочей среды для струйного регулирования используют воздух, продукты горения, сильно нагретый пар, азот или их смеси. При применении горячих газов снижается давление струйной обработки.

Вспомогательными параметрами, оказывающими прямое и косвенное влияние на толщину покрытия считаются: характеристика расплава (температура, химический состав, вязкость), геометрические размеры сопел и их расположение (расстояние до поверхности полосы и зеркала расплава, угол наклона струи сопел к горизонтали, ширина щели сопел), температура полосы газа для обдувки, шероховатость поверхности полосы и ее химический состав.

Цинковые покрытия имеют большую стойкость к коррозии в воздухе, в воде и в некоторых органических средах (бензине, масле), но не в кислотах и щелочах. Горячему цинкованию, помимо листов, проволоки, труб, различной посуды, подвергаются детали аппаратуры для получения питьевой воды, спиртов, холодильников, деталей опреснительных установок, газовых компрессоров.

**4.5. Покрытие стали 08Ю методом горячего цинкования.** Структура образца из стали 08Ю после рекристаллизационного отжига (перед цинкованием) состоит из феррита и небольшого количества цементита третичного. Сталь после

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

цинкования имеет такую же структуру, как и перед нанесением горячего покрытия. Характерная структура высококачественного цинкового покрытия стали 08Ю полученного методом горячего цинкования состоит из четырех зон представлена на рисунке 4.2.

Во время погружения в цинковую ванну, имеющую температуру от 430 до 470° С, образуются слои сплава цинка с железом в соответствии с диаграммой состояния Fe – Zn. Этот сплав обычно содержит три фазы: ζ-фаза, δ<sub>1</sub>-фаза и Γ-фаза. Максимальное количество железа содержится в слое покрытия, примыкающем к основному материалу стали, минимальное – в наружном слое цинкового покрытия. В цинковом покрытии, нанесенном горячим методом, может возникнуть большое количество дефектов, влияющих на эксплуатационные качества покрытия. Погружение в горячую ванну при повышенной температуре приводит к уменьшению толщины верхнего слоя цинкового покрытия, а при температуре выше 480° С происходит резкое увеличение скорости образования интерметаллида. Образование чрезмерно толстых слоев интерметаллида уменьшает пластичность покрытия в целом из-за большей хрупкости сплава цинка с железом. Покрытие может отслаиваться от основного слоя, если в дальнейшем полученное изделие подвергнуть изгибу. Кроме того, более тонкий слой чистого цинка обладает пониженной способностью обеспечивать анодную защиту от коррозии основного слоя при эксплуатации.

**4.6. Обработка хромированием погружных роликов.** Хорошие результаты показало применение в ваннах АНГЦ полосы роликов с покрытием, полученным обработкой методом импульсного электроискрового легирования электролитических осадков хрома с последующей обкаткой. При легировании использовались графитовый анод и анод из твердого сплава ВК8. Этот способ упрочнения был выбран из-за того, что карбиды (в данном случае Cr и W) обладают

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

не только высокой износостойкостью, но и мало смачиваются расплавленным Zn, а потому слабо с ним реагируют.

Хром обладает всеми характерными свойствами металлов – хорошо проводит тепло, почти не оказывает сопротивления электрическому току, имеет присущий большинству металлов блеск. По твердости хром превосходит все металлы, он царапает стекло. Главная особенность хрома – его устойчивость к действию кислот и кислорода. Ничтожные примеси кислорода, азота, углерода резко изменяют физические свойства хрома, в частности он становится хрупким, поэтому в качестве конструкционного материала его практически не применяют. Небольшие добавки его придают стали твердость износостойкость. Получить хром без примесей очень трудно. Он устойчив к коррозии на воздухе и в воде

Стойкость роликов, расположенных в ваннах агрегатов непрерывного горячего цинкования (АНГЦ) полосы, имеет большое значение для экономичности агрегата в целом. Оцинкованный стальной лист имеет широкую область применения, что объясняется его очень хорошей коррозионной стойкостью и невысокой ценой. В последние годы расширилось его применение в виде оцинкованного автолиста, что требует очень высокого качества поверхности, поскольку даже самые незначительные дефекты приводят к браку. Одним из источников появления этих дефектов является момент прохождения полосы через погружной ролик в ванне и через примыкающие к нему стабилизирующие ролики. На рисунке 4.1 схематично показано расположение роликов в ванне, которые постоянно подвергаются воздействию коррозии. В результате на поверхности роликов образуется прочно держащиеся отложения, которые приводят к появлению дефектов в виде ряби на оцинкованном листе. Такие листы не удовлетворяют требованиям автомобильной промышленности.

Процесс коррозии роликов протекает очень быстро и стойкость их, как правило, не превышает 15 дней. Причиной этому является реакция жидкого цинка с материалом роликов. Температура эксплуатации роликов составляет 450° С. В

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

связи с этим необходимо получить такую поверхность роликов, которая имела бы возможно меньшую смачиваемость жидким цинком и обладала достаточной износостойкостью.

Для решения поставленных задач хорошо подходят ролики с алитированным покрытием, которое сформировано газотермическим методом с последующей обработкой низкотемпературной плазмой (стабилизирующие ролики); и ролики с покрытием, полученным обработкой методом электроискрового легирования электролитических осадков хрома (донные ролики). Стоимость таких роликов сравнительно невысока, зато срок службы их составляет около 30 дней при постоянном высоком качестве оцинкованной полосы.

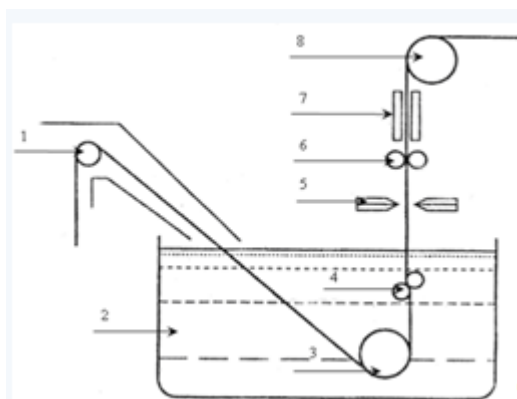


Рисунок 4.1. - Участок цинкования агрегата непрерывного горячего цинкования полосы (АНГЦ):

1 – направляющий ролик; 2 – ванна; 3 – погружной ролик;  
4 – стабилизирующие ролики; 5 – разравниватель покрытия; 6 – направляющие ролики; 7 – печь; 8 – верхний ролик

**4.7. Факторы, влияющие на внешний вид покрытия.** Из раствора, содержащего лишь чистую окись хрома и воду, нельзя успешно осаждать хром. Качественный осадок получается только тогда, когда в ванне содержатся еще и

свободные кислотные радикалы, которые, действуя как не расходуемые катализаторы, способствуя осаждению хрома на катоде.

Ученые всесторонне изучили вопрос изменения внешнего вида хромовых осадков, образующихся в стандартной ванне (250 г/л  $\text{CrO}_3$  и 2,5 г/л  $\text{SO}_4$ ), в зависимости от плотности тока и температуры ванны. Их результаты обобщены на рисунке 4.2.

Всю диаграмму можно поделить на четыре области. Область I охватывает низкие температуры и любую плотность тока. В этом случае осадки получают темноватыми и тусклыми, при более низких температурах они имеют темно-коричневый или шоколадный оттенок. При высоких плотностях тока покрытия становятся чешуйчатыми.

С точки зрения получения блестящих покрытий наибольший интерес представляет область II. При перемещении слева направо, т. е. с повышением температуры, осадки становятся более блестящими. Максимальный блеск достигается на границе между областями II и III.

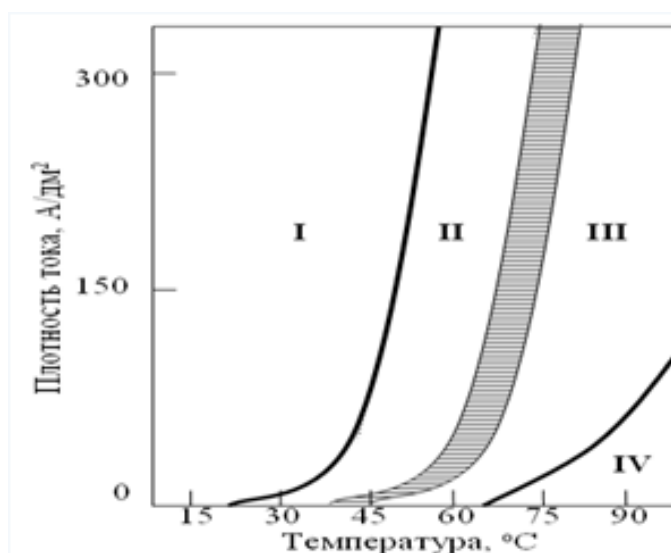


Рисунок 4.2. - Диаграмма, характеризующая внешний вид хромовых осадков, образующихся в стандартной ванне (250 г/л  $\text{CrO}_3$  и 2,5 г/л  $\text{SO}_4$ ), в зависимости от плотности тока и температуры ванны



В области III, т. е. при температурах выше 60° С и плотностях тока больше 45–55 А/дм<sup>2</sup>, осадки тускнеют и постепенно делаются матовыми. В области IV хром совершенно не осаждается.

Комбинированные покрытия получали обработкой плазменной струей предварительно нанесенных газотермических покрытий и электролитических осадков.

Для проведения исследований по защите и повышению износостойкости поверхности погружных роликов использовались, в основном, ролики из стали 4Х5МФС и стали 35 длиной около 1,5–2 см, внешним диаметром – 1,5 см и внутренним – 0,7 см. На внешнюю поверхность был нанесен хром (молочный или твердый) методом электролитического осаждения с использованием универсального электролита (таблица 3), легированный затем электроискровым способом с использованием различных анодов (графитового, из твердого сплава ВК8, анода из сплава FeSiCr, из стали 12Х25Н20С2 с хромовым покрытием толщиной около 0,25 мм и др.). Путем подбора оптимального режима электроискрового легирования и использование различных анодов удалось получить хромовые покрытия, удовлетворяющие требованиям коррозионной стойкости и износостойкости.

**4.8. Обработка хромированием погружных роликов.** Путем подбора оптимального режима электроискрового легирования и использование различных анодов удалось получить хромовые покрытия, удовлетворяющие требованиям коррозионной стойкости и износостойкости.

Результаты исследований покрытий на стали 4Х5МФС, полученных в результате ЭИЛ электролитических осадков хрома с применением графитового анода и анода из твердого сплава ВК8 с энергией обработки 4 Дж представлены на рисунке 4.3.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

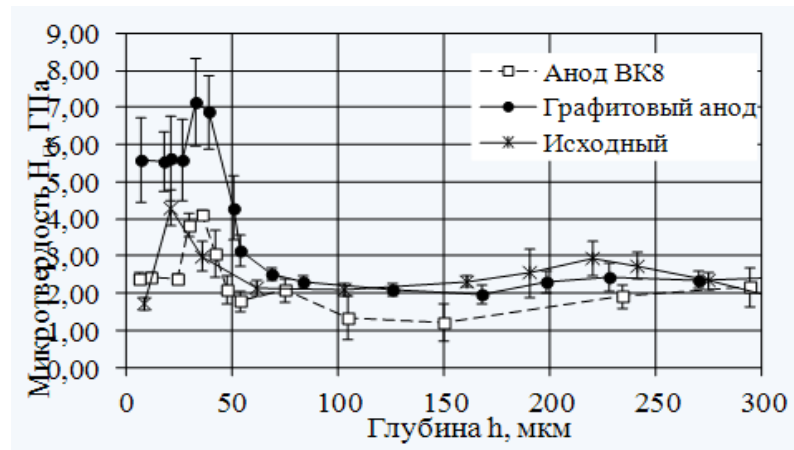


Рисунок 4.3. - Изменение микротвердости покрытий на стали 4Х5МФС, полученных методом ЭИЛ электролитических осадков хрома с применением различных анодов,  $A_U = 4$  Дж; (исходный образец – молочный хром на стали 4Х5МФС)

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что для упрочнения погружных роликов хорошо подходит обработка методом электроискрового легирования электролитических осадков хрома с применением графитового анода, но для того, чтобы дать конкретные рекомендации к применению, необходимо в дальнейшем изучить процессы, которые произойдут в покрытии после длительной выдержки в цинковом расплаве.

В целом, рассматриваемые способы поверхностной обработки роликов ванн АНГЦ полосы хорошо подходят для решения задачи по увеличению их срока службы, что экономически очень выгодно.

## 5 МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

Механизация обозначает замену труда человека на операции, которые возможно и целесообразно выполнять с помощью машин, и направлены на облегчение условий работы, улучшение производительности труда.

Комплексная автоматизация процессов в термообработке приводит к повышению общей культуры производства. Труд становится более квалифицированным.

Примером комплексной механизации могут служить агрегаты, в которых осуществляют циклическую, заранее установленную последовательность механических движений обрабатываемых изделий через печи, баки и т.д. Вследствие комплексной механизации в 2–3 раза уменьшается трудоемкость производства, в 3–5 раз сокращается производственный цикл, в 5–10 раз снижается потребность в рабочей силе, и на 30–50% уменьшаются производственные площади.

Рассмотрим один из механизмов. Натяжное устройство служит для создания и регулирования натяжения полосы на выходе из печной части агрегата. Оно состоит из двух направляющих роликов и плавающего ролика, покрытого резиной. Ход направляющего ролика 180 мм. Для привода направляющего ролика необходима мощность 5 кВт, которая должна создаваться электродвигателем.

Выбрать электродвигатель – это значит определить его тип и номинальные параметры (мощность  $P_{\text{дв}}$  и частоту вращения  $n_{\text{дв}}$ ). Для общепромышленных приводов обычно применяют трехфазные асинхронные двигатели ИА (ГОСТ 19523-74).

Требуемая мощность  $P_{\text{тр}} = P / \eta_{\text{общ}}$ , (15)

где  $P$  – мощность по валу рабочей машины;  $\eta_{\text{общ}}$  – общий КПД привода.

Общий КПД привода определяем как произведение КПД отдельных передач

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_1 \times \eta_2 \times \dots \times \eta_k, \quad (5.1)$$

где  $k$  – число передач, составляющих привод.

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{рп}} \times \eta_{\text{зп}} = 0,96 \times 0,97 = 0,93, \text{ тогда } P_{\text{тр}} = 5/0,93 = 5,4 \text{ кВт}.$$

Следовательно, необходимо выбрать двигатель с мощностью 5,5 кВт.

Номинальная мощность двигателя в длительном режиме должна быть  $P_{\text{дв.}} \geq P_{\text{тр.}}$ .

Типы двигателей с мощностью 5,5 кВт представлены в таблице 9.

Для того, чтобы выбрать тип двигателя, необходимо знать частоту вращения вала электродвигателя, которая находится

$$n_{\text{тр}} = n \times i_{\text{общ}}, \quad (5.2)$$

где  $n$  – частота вращения вала рабочей машины, об/мин;

$i_{\text{общ}}$  – общее передаточное отношение привода.

Таблица 5.1. - Типы двигателей с мощностью  $P = 5,5$  кВт

Тип двигателя	Частота вращения $n_k$ , об/мин	Частота вращения $n_c$ , об/мин	Примечание
4A100S2Y3	2880	3000	Закрытые обдуваемые двигатели с нормальным пусковым моментом
4A112M4Y3	1450	1500	
4A132B6Y3	965	1000	
4A132M8Y3	720	750	

Если рабочий орган движется поступательно со скоростью  $V$  м/с, то частота вращения вала рабочей машины

$$n = 60 \times 10^3 \times V / c, \quad (5.3)$$

где  $c$  – длина окружности тягового органа, мм;  $c = \pi \times D$  ( $D$  – диаметр шестерни).

$$V = 0,95 \text{ м/мин}; c = \pi \times 50 = 157 \text{ мм};$$

$$n = 60 \times 10^3 \times 0,95 / 157 = 363 \text{ об/мин.}$$

Общее передаточное отношение привода равно произведению передаточных отношений отдельных передач

$$i_{\text{общ}} = i_1 \times i_2 \times \dots \times i_k, \quad (5.4)$$

$$i_{\text{рп}} = 3,15, \quad i_{\text{зп}} = 2,5, \quad i_{\text{общ}} = 3,15 \times 2,5 = 7,878, \text{ тогда:}$$

$$n_{\text{тр}} = 363 \times 7,878 = 2859 \text{ об/мин.}$$

Следовательно, двигатель, который обеспечивает заданную мощность и частоту вращения вала электродвигателя, типа 4А100S32У3.

Определим угловые скорости вращения валов двигателя. Скорость вращения первого вала

$$W_{\text{дв.}} = W_1 = \pi \times n_{\text{дв}} / 30, \quad (5.5)$$

$$W_{\text{дв.}} = 3,14 \times 3000 / 30 = 314 \text{ рад/мин.}$$

Угловая скорость вращения второго вала

$$W_2 = W_1 / i, \quad (5.6)$$

$$W_2 = 3,14 / 3,15 = 24,93 \text{ рад/мин.}$$

Автоматическая система управления агрегатом непрерывного отжига состоит из вычислительной машины управления технологическим процессом, вычислительной машины обработки данных типа «Мелком 350-7», трех микроконтроллеров типа «Мелмик», пяти микроконтроллеров типа «Мелсек», контрольно-измерительных и регулирующих приборов.

Функции вычислительной машины управления технологическим процессом:

— сопровождение рулонов от разматывателя на входной части агрегата до весов на выходной;

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- индикация переменных сварного шва по линии агрегата на табло слежения выходного поста;
- расчет и выдача заданий для настройки агрегата при прохождении нового рулона;
- расчет и выдача заданий на резку рулонов заданной длины;
- расчет оптимального режима нагрева металла в печи и выдача заданий на температуру печи и на скорость транспортировки полосы;
- управление нагревом печи при аварийных остановках агрегата;
- выдача данных операторам постов о характеристиках обрабатываемого металла и режимах его обработки, а корректировка этих данных;
- передача данных об обрабатываемых рулонах в вычислительную машину обработки данных;
- регистрация дефектов обрабатываемой полосы (дефекты поверхности, дефекты по твердости, толщине, внутренние дефекты);
- учет обрабатываемых рулонов;
- защита от повторной обработки в АНО.

Функции вычислительной машины обработки данных:

- формирование массива данных о рулонах по запросу задания на обработку из системы слежения за металлом (ССМ) или после ввода данных оператором входного поста с пульта ввода-вывода ЭВМ;
- регистрация заданий на обработку рулонов по мере их поступления в систему;
- регистрация неисправностей механического оборудования, электрооборудования, оборудования вычислительной техники в момент возникновения неисправности;
- регистрация технологических данных по режиму обработки рулонов;
- представление данных оператору выходного поста агрегата на экране дисплея;

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- корректировка и обновление данных о рулонах по требованию оператора поста;
- прием данных об обработке рулонов от вычислительной машины управления технологическим процессом;
- передача в ССМ данных о каждом готовом рулоне для формирования сменного раппорта;
- передача в ССМ данных о производстве и простоях АНО за прошедший час.

Микроконтроллер «Мелмик» входной части агрегата обеспечивает выполнение операций по заправке полосы в агрегат, а также осуществляет управление разгонами и торможением входной части агрегата.

Микроконтроллер «Мелмик» средней части агрегата обеспечивает поддержание заданной скорости в центральной части агрегата в соответствии с заданиями от вычислительной машины, а также необходимое натяжение.

Микроконтроллер «Мелмик» выходной части агрегата обеспечивает выполнение ряда операций на выходной части агрегата, а также управление разгоном и торможением выходной части агрегата.

Микроконтроллеры «Мелмик» обеспечивают управление последовательностью операций по транспортировке полосы по линии агрегата, а также обеспечивают выполнение ряда вспомогательных операций, связанных с очисткой полосы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы были раскрыты процессы производства автолистовой стали, преимущества агрегата непрерывного отжига, описаны свойства продукции, получаемой путем горячего цинкования.

Было разработано натяжное устройство для создания и регулирования натяжения полосы на выходе из печной части агрегата непрерывного отжига. Определена мощность привода направляющего ролика, которая должна создаваться электродвигателем. Был рассчитан и выбран электродвигатель. Необходимо отметить, что выбранная технология и комплектация установки соответствует требованиям технического задания.

Для разработки проекта использовались программы Mathcad, Mathlab.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белянский, М.А. Производство автомобильного листа. / М.А. Белянский, В.Л. Мазур, В.И. Мелешко. М.: Металлургия, 1979. 256 с.
2. Дедек, Вл. Полосовая сталь для глубокой вытяжки. / Вл. Дерек. М.: Металлургия, 1970. 208 с.
3. Гусева, С.С. Непрерывная термическая обработка автолистовой стали. / С.С. Гусева, В.Д. Гуренко, Ю.Д. Зварковский. М.: Металлургия, 1979. 224 с.
4. Пилюшенко, В.Л. Структура и свойства автолистовой стали. / В.Л. Пилюшенко, А.И. Яценко, А.Д. Белянский и др. М.: Металлургия, 1996. 164 с.
5. Марочник сталей и сплавов. В.Г. Сорокин, А.В. Валосников, С.А. Ваткин и др. М.: Машиностроение, 1989. 640 с.
6. Технологическая инструкция ТИ 106-ПХЛ 4-23-97. Термическая обработка холоднокатаной углеродистой стали в АНО. Липецк, 1997.
7. Технологическая инструкция ТИ 106-ПХЛ 4-29-87 «Обработка холоднокатаной стали в агрегатах непрерывного горячего цинкования».
8. Коцарь, С.Л. Технология листопрокатного производства./ С.Л. Коцарь, А. Д. Белянский Ю.А. Мухин. М.: Металлургия, 1997.
9. Левина, Б.Е. Технология термической обработки стали./ Б.Е. Левина. М.: Металлургия, 1981.
10. Шитов, А.В. Освоение технологии производства проката с цинковым и алюмоцинковым покрытиями./ А.В. Шитов, А.Н. Климушкин, В.В. Мартьянов Т.С. Сейсшибинов Сталь, 2000, №6, с. 48–52.
11. Дубинин, Г.Н. Прогрессивные методы химико-термической обработки./ Г.Н. Дубинин. М.: Металлургия, 1979.
12. Минкевич, А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов./ А.Н. Минкевич. М.: Машиностроение, 1964.

					13.03.02.2018.258 ПЗ ВКР	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		