МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Уральский государственный технический университет-УПИ

### кафедра электротехники и электротехнологических систем

## Оценка проекта \_\_\_\_

## Члены комиссии \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

# ДУГОВАЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНАЯ ПЕЧЬ

# КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

180500 344270 027 ПЗ

#### Руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_ Прудников Ю.С.

к.т.н., доцент \_\_.\_\_.04

Студент гр. ЭТУС 431к \_\_\_\_\_\_\_\_\_ Чумичёв И.С.

\_\_.\_\_.04

2004

ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Дуговая сталеплавильная печь.

Емкость печи: 50 т;

Питание постоянным током.

Особенность работы: разливка на МНЛЗ.

СОДЕРЖАНИЕ

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ………………………………………………………...…………3

ВВЕДЕНИЕ………………………………………………………………………..5

1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА……………...……..…8

1.1 Общие сведения………………………………………………………….8

1.2 Окислительный период плавки………………………………………..12

1.3 Восстановительный период плавки…………………………………...14

1.4 Порядок легирования……….………………………...………………..15

1.5 Особенности плавки конструкционной стали………………….…….16

1.6 Разливка стали………………………………………………….…..…...17

2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

ПО КОНСТРУКЦИИ ПЕЧИ…………………….……….…………..……...20

2.1 Основные элементы конструкции печи…………………………….…20

2.2 Электрододержатели………………………………...…………………21

2.3 Механизм наклона печи……………………………………………..…21

2.4 Система загрузки печи…………………………………………………22

2.5 Свод печи………………………………………………………………..22

2.6 Газоотсос………………………………………………………………..23

3. РАСЧЕТ ЭНЕРГИИ НА РАСПЛАВЛЕНИЕ……………………………….24

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ

ПЛАВИЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА ……………….…………….…….….25

5. ВЫБОР ФУТЕРОВКИ ПЕЧИ……………………………………………….29

5.1 Футеровка подины………………………………………………….…..29

5.2 Футеровка стен………………………………………………………….30

5.3 Футеровка свода………………………………………………………...31

6. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ПЕЧИ……………………….……………………….32

6.1 Тепловые потери через футеровку стенок печи………………...……32

6.2 Тепловые потери через футеровку свода печи……………………….33

6.3 Тепловые потери через футеровку подины…………………………..35

6.4 Суммарные потери через футеровку печи……………………………37

6.5 Потери через рабочее окно…………………………………………….37

6.6 Тепловые потери с газами………………………………...……………37

6.7 Тепловые потери в период межплавочного простоя…………………38

7. ВЫБОР МОЩНОСТИ ПЕЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА………………...39

8. РАСЧЕТ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОРОТКОЙ СЕТИ………..42

9. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ……………………………………….50

9.1 Обоснование выбора схемы преобразователя………………………..50

9.2 Расчет преобразоватея………………………………………………….57

9.3 Выбор тиристоров………………………………………………………58

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 …………………………………………………...…………..60

ПРИЛОЖЕНИЕ 2………………………………………………………………..61

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……………………………………….………………62

ВВЕДЕНИЕ

Дуговые сталеплавильные печи, применяемые в промышленных установках с конца XIX века, в настоящее время получили широкое распространение во многих областях промышленности. Большая скорость нагрева является дополнительным преимуществом по сравнению с нагревом в печах сопротивления.

Основное назначение дуговой сталеплавильной печи (ДСП) прямого действия – выплавка стали из металлического лома (скарпа). Такой процесс весьма энергоемок; на 1 т выплавленной стали в зависимости от емкости печи и характера процесса расходуется от 500 до 1000 кВт⋅ч электроэнергии, поэтому при прочих равных условиях процесс дешевле проводить в мартеновской печи, где топливо сжигается непосредственно. В связи с этим лишь сравнительно небольшую часть всей получаемой из скрапа стали выплавляют в электрических печах. В них осуществляются лишь те процессы, которые трудно проводить в мартеновской печи или конверторе. В первую очередь – это получение высоколегированных сортов стали, требующих тщательного очищения металла от вредных примесей (особенно серы) и неметаллических включений, и обезгаживания его. Для таких сортов стали стоимость передела гораздо меньше стоимости легирующих и самой стали и решающими факторами становятся качество металла и степень угара ценных добавок. Существенные преимущества (большие маневренность и скорость плавки, снижение капитальных затрат) имеет дуговая печь как агрегат для получения стального литья.

Следует отметить, что по мере удешевления электроэнергии, а также благодаря увеличению емкости дуговых агрегатов, вследствие чего уменьшается расход электроэнергии и материалов на выплавку 1 т стали, разница в стоимости передела металла в дуговой и мартеновской печах снижается. В последние годы в мощных дуговых печах выплавляют не только высоколегированные стали. В этом случае в пользу дуговых печей говорят их большая приспособленность к характеру скрапа и легкость плавки в них крупного скрапа.

Выплавка легированных сталей включает следующие операции: расплавление металла, удаление содержащихся в нем вредных примесей и газов, раскисление металла, введение в него нужных легирующих и выливание из в печи в ковш для разливки по изложницам или формам. Значение этих операций и требования которые они предъявляют к дуговой печи, могут быть весьма различными.

В последние годы широкое развитие получили дуговые сталеплавильные печи, работающие на постоянном токе. По сравнению с печами переменного тока они имеют следующие преимущества:

- расход электродов в 2...5 раз меньше в зависимости от подготовки шихты;

- отсутствие толчков и помех в питающую энергосистему;  
- расход электроэнергии меньше на 10 ... 15 %;  
- расход огнеупорных материалов меньше на 20 ... 30 %;  
- расход исходного сырья уменьшается на 1,5...2 %;  
- расход дорогостоящих легирующих добавок меньше на 20…60%;  
- уровень шума уменьшается со 105 дБл до 85 дБл;  
- количество пыле-газовыбросов меньше в 8 .... 10 раз;  
- Низкая эрозия графитированных электродов позволяет выплавлять сталь с низким содержанием углерода (уровень науглераживания не превышает 0,005 %);  
- Дуговые электропечи постоянного тока имеют наиболее высокий энергетический к.п.д., самый низкий процент угара металла, самую высокую стойкость футеровки, улучшенные условия труда и пониженное количество пыле-газовыбросов;  
- Дуговые электропечи постоянного тока могут работать с полным сливом металла, допускают его частичный слив, а также могут работать в качестве миксера;  
- За счёт возможности использования электрохимических реакций на постоянном токе для удаления вредных примесей, улучшения перемешивания металла и более высокой стабильности процесса улучшается качество выплавляемого металла.

В данном курсовом проекте рассчитывается дуговая сталеплавильная печь работающая на постоянном токе, предназначенная для выплавки конструкционной стали с разливкой на МНЛЗ.

1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1 Общие сведения

Существенным отличием получения стали в дуговых печах является возможность получения в плавильном пространстве восстановительной или нейтральной атмосферы и различного давления.

Восстановительная атмосфера в электродуговых печах позволяет получить шлак, содержащий в конце плавки не более 1 % FeO, что примерно в 10 раз меньше, чем в обычном шлаке мартеновской печи.

Другим отличием является отсутствие в атмосфере печи кислорода. Поэтому ведение окислительных процессов возможно только за счет внешнего кислорода, источниками которого могут быть железная руда и газообразный кислород, вдуваемый в ванну. По этой же причине имеют место меньшие потери металла на угар.

Возможность ведения плавки на шлаке с более высокой температурой плавления и перегрева в условиях основного процесса облегчает осуществление десульфурации. При основном процессе плавки обеспечиваются все условия, необходимые для получения стали с минимальным содержанием серы. В тоже время процесс дефосфорации в электродуговых печах хуже.

В электродуговых печах имеются благоприятные условия для переплава высоколегированных отходов. Здесь потери дефицитных легирующих элементов минимальны.

Особенностью выплавки стали в электродуговых печах является возможность работы с одним шлаком, без специального восстановительного периода. Это значительно сокращает продолжительность плавки, расход электроэнергии и улучшает все технико-экономические показатели процесса.

В процессе электроплавки конечный результат предопределяется в основном взаимодействии двух фаз – металлической и шлаковой. В остальных процессах тремя металлической, газовой и шлаковой

Поэтому с точки зрения возможности использования влияния физико-химических факторов на конечные результаты электроплавка является более совершенной. Практически значительное количество дефектов в отливках и слитках из легированных сталей получается из-за плохого качества металла или вызываются и усугубляются четырьмя вредными примесями: кислородом, серой, водородом и фосфором. Электроплавка является наиболее гибким процессом для борьбы с тремя примесями: кислородом, серой и водородом.

Основное преимущество дуговой печи заключается в возможности раскисления и обессеривания металла и легкости его перегрева, поэтому в целях удешевления процесса иногда применяют так называемый «дуплекс-процесс», при котором расплавление скрапа и окисление ведут в более дешевом плавильном аппарате – мартеновской печи, а затем жидкий металл переливают в дуговую печь для рафинирования и доводки до нужного состава. Реже применяют дуплекс-процесс «конвертор-электропечь».

При дуплекс-процессах мощность печи может быть меньше, чем при работе на твердой завалке, так как расплавление скрапа в этом случае отсутствует. Проводящиеся время от времени плавки на твердой завалке выполняют при уменьшенном весе шихты; они из-за меньшей мощности более длительны, но так как проводятся не часто (главным образом после ремонта футеровки), то их удлинение не является существенным. Электрический режим печей, работающих на жидкой завалке, также значительно спокойнее. При наличии жидкого металла, покрытого слоем шлака, дуга горит более стабильный и отсутствуют короткие замыкания из-за обвалов шихты.

Электродуговая печь может быть остановлена или пущена в эксплуатацию в любое время, удобное для производства, и при любом режиме работы.

Капитальные затраты на установку электродуговых печей в среднем на 40% меньше, чем на установку мартеновских печей аналогичной производительности.

###### Плавка в дуговой печи начинается с заправки печи. Жидкоподвижные нагретые шлаки сильно разъедают футеровку, которая может быть повреждена и при загрузке. Если подина печи во время не будет закрыта слоем жидкого металла и шлака, то она может быть повреждена дугами. Поэтому перед началом плавки производят ремонт – заправку подины. Перед заправкой с поверхности подины удаляют остатки шлака и металла. На поврежденные места подины и откосов – места перехода подины в стены печи – забрасывают сухой магнезитовый порошок, а в случае больших повреждений – порошок с добавкой пека или смолы.

###### Заправку производят заправочной машиной, выбрасывающей через насадку при помощи сжатого воздуха заправочные материалы, или, разбрасывающей материалы по окружности с быстро вращающегося диска, который опускается в открытую печь сверху.

###### 

Рис. 1.1 Этапы плавления шихты.

а - начало плавления; б - опускание электрода; в - подъем электрода; г - окончание плавления.

###### Для наиболее полного использования рабочего пространства печи в центральную ее часть ближе к электродам загружают крупные куски (40 %), ближе к откосам средний лом (45 %), на подину и на верх загрузки мелкий лом (15 %). Мелкие куски должны заполнять промежутки между крупными кусками.

Выплавка сталей включает следующие операции: расплавление металла, удаление содержащихся в нем вредных примесей и газов, раскисление металла, и выливание его из печи в ковш для разливки в машине непрерывного литья заготовок. Значение этих операций и требования, которые они предъявляют к дуговой печи, могут быть весьма различными.

Расплавление скрапа необходимо вести по возможности скорее и с минимальным расходом энергии. Зачастую длительность его превосходит половину продолжительности всей плавки и при этом расходуется 60-80% всей электроэнергии. Характерной особенностью периода является неспокойный электрический режим печи. Горящая между концом электрода и холодным металлом дуга нестабильна, ее длина невелика и сравнительно небольшие изменения в положении электрода или металла (обвал, сдвиг подплавленного куска скрапа) вызывают либо обрыв дуги, либо, наоборот, короткое замыкание. Ход плавления шихты в дуговой печи иллюстрируется рис. 1.1. Дуга загорается сначала между концом электрода и поверхностью шихты, причем для повышения ее устойчивости в первые минуты под электроды обычно подкладывают куски кокса или электродного боя. После сгорания последних начинает подплавляться металл и каплями стекать на подину. В шихте образуются колодцы, в которые углубляются опускающиеся электроды до тех пор, пока они не достигнут подины, на которой во избежание перегрева ее к этому моменту должна быть образована лужа расплавленного металла. Это самый беспокойный, неустойчивый период горения дуги; подплавляемые куски шихты падают на электрод, закорачивая дугу при опускании куска шихты под торцом электрода может, наоборот, наступить обрыв тока. Горящая между электродом и расплавленным металлом дуга перегревает металл: начинается размыв и расплавление шихты, окружающей колодцы. Колодцы расширяются, уровень жидкого металла в ванне начинает повышаться, а электроды – подниматься. В конце этого периода почти весь металл оказывается расплавленным; остаются лишь отдельные куски шихты на откосах – "настыли", расплавляющиеся последними. Чтобы не затягивать период расплавления, обычно эти "настыли" сбрасывают ломом в глубь ванны. Период расплавления считают законченным, когда весь металл в печи перешел в жидкое состояние. К этому моменту режим горения дуги становится более спокойным, так как температура в печи выше, поверхность металла покрыта слоем шлака, образованным заброшенными в печь в период расплавления кусками извести и всплывающими окислами; длина дуги по сравнению с началом расплавления увеличивается в несколько раз дуга горит устойчивее, количество толчков тока и обрывов уменьшается.

1.2 Окислительный период плавки

После окончания периода расплавления начинается окислительный период, задачи которого заключаются в следующем: окисление избыточного углерода, окисление и удаление фосфора; дегазация металла; удаление неметаллических включений, нагрев стали. Окислительный период плавки начинают присадкой железной руды, которую дают в печь порциями. В результате присадки руды происходит насыщение шлака FeO и окисление металла по реакции: (FeO)=[Fe] + [O]. Растворенный кислород взаимодействует с растворенным в ванне углеродом по реакции [C] +[O]=CO. Происходит бурное выделение пузырей CO, которые вспенивают поверхность ванны, покрытой шлаком. Поскольку в окислительный период на металле наводят известковый шлак с хорошей жидкоподвижностью, то шлак вспенивается выделяющимися пузырями газа. Уровень шлака становится выше порога рабочего окна и шлак вытекает из печи. Выход шлака усиливают, наклоняя печь в сторону рабочего окна на небольшой угол. Шлак стекает в шлаковик, стоящий под рабочей площадкой цеха. За время окислительного периода окисляют 0,3—0,6 % углерода со средней скоростью 0,3—0,5 % в час. Для обновления состава шлака одновременно с рудой в печь добавляют известь и небольшие количества плавикового шпата для обеспечения жидкоподвижности шлака. Непрерывное окисление ванны и скачивание окислительного известкового шлака являются непременными условиями удаления из стали фосфора.

Для протекания реакции окисления фосфора 2[P] + 5[O]=(P2О5);

(P2О5) + 4(СаО) = 4(СаО) ⋅ (P2О5) необходимы высокое содержание кислорода в металле и шлаке, повышенное содержание окиси кальция в шлаке и пониженная температура. В электропечи первые два условия полностью выполняются. Выполнение последнего условия обеспечивают наводкой свежего шлака и постоянным обновлением шлака, так как шлак, насыщенный 4(СаО) ⋅ (P2О5) скачивается из печи. По ходу окислительного периода происходит дегазация стали – удаление из нее водорода и азота, которые выделяются в пузыри СО, проходящие через металл. Выделение пузырьков СО сопровождается также и удалением из металла неметаллических включений, которые выносятся на поверхность потоками металла или поднимаются наверх вместе с пузырьками газа. Хорошее кипение ванны обеспечивает перемешивание металла, выравнивание температуры и состава. Общая продолжительность окислительного периода составляет от 1 до 1,5 часов. Для интенсификации окислительного периода плавки, а также для получения стали с низким содержанием углерода металл продувают кислородом. При продувке кислородом окислительные процессы резко ускоряются, а температура металла повышается со скоростью примерно 8 – 10 °С/мин. Чтобы металл не перегрелся, вводят охлаждающие добавки в виде стальных отходов. Применение кислорода является единственным способом получения низкоуглеродистой нержавеющей стали без значительных потерь ценного легирующего хрома при переплаве.

###### Окислительный период заканчивается, когда содержание углерода становится ниже заданного предела, содержание фосфора 0,010%, температура металла несколько выше температуры выпуска стали из печи. В конце окислительного периода шлак стараются полностью убирать из печи, скачивая его с поверхности металла.

###### 1.3 Восстановительный период плавки

###### После скачивания окислительного шлака начинается восстановительный период плавки. Задачами восстановительного периода плавки являются: раскисление металла, удаление серы, корректирование химического состава стали, регулирование температуры ванны, подготовка жидкоподвижного хорошо раскисленного шлака для обработки металла во время выпуска из печи в ковш. Раскисление ванны, т.е. удаление растворенного в ней кислорода, осуществляют присадкой раскислителей в металл и на шлак. В начале восстановительного периода металл покрывается слоем шлака. Для этого в печь присаживают шлакообразующие смеси на основе извести с добавками плавикового шпата, шамотного боя, кварцита. В качестве раскислителей обычно используют ферромарганец, ферросилиций, алюминий. При введении раскислителей происходят следующие реакции:

###### [Mn]+[O]=(MnO); [Si]+2[О] = (SiO2); 2[Al]+ 3[O]=(Al2О3).

###### В результате процессов раскисления большая часть растворенного кислорода связывается в оксиды и удаляется из ванны в виде нерастворимых в металле неметаллических включений. Процесс этот протекает достаточно быстро и продолжительность восстановительного периода в основном определяется временем, необходимым для образования подвижного шлака. В малых и средних печах при выплавке ответственных марок сталей продолжают применять метод диффузионного раскисления стали через шлак, когда раскислители в виде молотого электродного боя, порошка ферросилиция присаживают на шлак. Содержание кислорода в шлаке понижается и в соответствии с законом распределения кислород из металла переходит в шлак. Метод этот, хотя и не оставляет в металле оксидных неметаллических включений, требует значительно большей затраты времени. В восстановительный период плавки, а также при выпуске стали под слоем шлака, когда происходит хорошее перемешивание металла со шлаком, активно происходит десульфурация металла по уравнению FeS + CaO = FeO + CaS. Этому способствует хорошее раскисление стали и шлака, высокое содержание извести в шлаке и высокая температура.

###### В ходе восстановительного периода вводят легирующие – ферротитан, феррохром и др., а некоторые, например никель, присаживают вместе с шихтой. Никель не окисляется и не теряется при плавке. Добавки тугоплавких ферровольфрама, феррониобия производят в начале рафинирования, так как нужно значительное время для их расплавления.

###### В настоящее время большинство операций восстановительного периода переносят из печи в ковш. Присаживают по ходу выпуска раскислители. Целью восстановительного периода является обеспечение нагрева стали до заданной температуры и создание шлака, десульфурирующая способность которого используется при совместном выпуске из печи вместе со сталью.

1.4 Порядок легирования

При выплавке легированных сталей в электродуговых печах порядок легирования зависит от сродства легирующих элементов к кислороду. Элементы, обладающие меньшим сродством к кислороду, чем железо (никель, молибден) во время плавки не окисляются и их вводят в начальные периоды плавки – никель в завалку, а молибден в конце плавления или в начале окислительного периода.

Хром и марганец обладают большим сродством к кислороду, чем железо. Поэтому металл легируют хромом и марганцем после слива окислительного шлака в начале восстановительного периода.

Вольфрам обладает большим сродством к кислороду, чем железо и его обычно вводят в начале восстановительного периода. Он очень тугоплавкий и поэтому ферровольфрам можно присаживать в ванну не позднее, чем за 30 мин. до выпуска.

1.5 Особенности плавки конструкционной стали

Проектируемая печь предназначена для выплавки конструкционной стали, которая применяется для изготовления различных деталей машин, механизмов и сооружений. К конструкционной стали предъявляются высокие требования прежде всего в отношении механических свойств; в ней должны отсутствовать пороки, могущие понизить прочность сооружения или детали машины. Механические свойства этой стали зависят главным образом от химического состава и условий ее термической обработки. В некоторых случаях обыкновенная углеродистая сталь удовлетворяет требованиям, предъявляемым к конструкционной стали. В других случаях этим требованиям может удовлетворить только легированная сталь после соответствующей термической обработки.

В состав нелегированной углеродистой стали входят следующие элементы: железо, углерод, кремний, марганец, фосфор и сера. Повышение содержания углерода увеличивает твердость стали и в соответствии с этим предел прочности. В закаленной стали влияние углерода значительно сильнее, чем в отожженной стали. В зависимости от требований, предъявляемых к твердости и прочности конструкционной стали, содержание углерода в ней может находиться в пределах 0,08 – 0,5 %.

Кремний вводят в сталь для предотвращения образования в ней пузырей, Для этого необходим, чтобы сталь содержала не менее 0,17 % Si. При более низком его содержании в процессе кристаллизации стального слитка возможно взаимодействие углерода с кислородом в стали, что может привести к возникновению пузырей в слитке.

Марганец также раскисляет сталь. Однако раскисление металла может быть осуществлено и без введения марганца. Между тем этот элемент входит в состав почти всех углеродистых и легированных сталей, Главное назначение марганца заключается в уменьшении вредного влияния серы.

Фосфор и сера являются вредными примесями в стали. Фосфор понижает ударную вязкость, сера придает стали красноломкость. Поэтому содержание этих элементов в стали должно быть, возможно более низким. Учитывая технологические трудности, связанные с удаление фосфора и серы при плавке конструкционной стали, допускают содержание каждого из этих элементов до 0,025 – 0,04 %.

Главным недостатком углеродистой стали является слабая ее прокаливаемость. В связи с этим высокие механические свойства после термической обработки могут быть получены только в тонких изделиях. При закалке толстых изделий из углеродистой стали прокалится лишь небольшой слой, близко расположенный к поверхности, а внутренние слои детали не прокалятся. В соответствии с этим высокие механические свойства после термической обработки обыкновенной углеродистой стали будут достигнуты только для поверхностного слоя обрабатываемой детали.

Существенным недостатком углеродистой стали является также низкая ударная вязкость. В особенности резко снижается ударная вязкость стали при пониженных температурах.

Для устранения указанных недостатков в сталь вводят различные легирующие элементы (хром, никель, молибден, вольфрам, марганец, ванадий, кремний и др.); эти элементы увеличивают прочность феррита. Однако наиболее важное влияние эти легирующие элементы оказывают на распад аустенита.

Для уменьшения чувствительности стали к отпускной хрупкости в нее вводят молибден или вольфрам. Эти элементы не только понижают чувствительность стали к отпускной хрупкости, но и увеличивают прокаливаемость стали.

1.6 Разливка стали

Разливка осуществляется с помощью машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Конструкция машины – двухручьевая, вертикальная, подземного расположения, со сборными водоохлаждаемыми неподвижными кристаллизаторами (рис. 1.2). Основные механизмы установки расположены в подземном колодце глубиной 13 м и сечением 5×10 м. Разливочная площадка находится на высоте 3,8 м над уровнем пола цеха и вынесена в разливочный пролет, что позволяет нормально обслуживать установку существующими в цехе кранами. Под кристаллизаторами расположены системы вторичного охлаждения, водосброса и тянущих роликов, под ними тележки газорезок и пульты управления газорезками (на площадке – 7,5 м). Кантователи слитков расположены на площадке – 11,5 м. Наклонные конвейеры поднимают слитки с этой площадки на уровень пола цеха. Установка рассчитана на разливку стали из 50-т ковша для получения унифицированной заготовки 175×420 мм длиной 1920 мм, предназначенной для прокатки на листовом и крупносортном стане. Металл из 50-т стопорного ковша поступает в промежуточное разливочное устройство емкостью 3,5 т, их которого через два стопора одновременно разливается в два неподвижных кристаллизатора высотой 1500 мм [6].

Промежуточное разливочное устройство имеет графито-шамотные стаканчики с электрообогревом и перегородки для предохранения от попадания шлака в кристаллизаторы, а также прибор радиоактивным излучением для контроля уровня металла. Каждая машины имеет независимые друг от друга механизмы вытягивания, автогенной резки, транспортные устройства для выдачи заготовок на склад. Достигнутая в настоящее время линейная скорость разливки составляет 0,9 м/мин, а производительность установки  
45 – 55 т/час.

Схема технологического процесса производства стали с использованием МНЛЗ приведена в приложении П1.

Рис. 1.2 Машина для непрерывной разливки

2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО КОНСТРУКЦИИ ПЕЧИ

2.1 Основные элементы конструкции печи

Кожух печи должен выдерживать нагрузку от массы огнеупоров и металла. Его делают сварным из листового железа толщиной 40 мм в соответствии с размерами печи. Форма кожуха определяет профиль рабочего пространства дуговой электропечи. В данной печи используется кожух цилиндрической формы. Для сохранения правильной цилиндрической формы кожух усиливается ребрами и кольцами жесткости. Днище кожуха выполняется конусно-сферическим, что обеспечивает наибольшую прочность кожуха и минимальную массу кладки. Для размещения подовых электродов предусматривается два, диаметрально расположенных отверстия. Сверху печь закрыта сводом. Свод набирают из огнеупорного кирпича в металлическом водоохлаждаемом сводовом кольце, которое выдерживает распирающие усилия арочного сферического свода. В нижней части кольца имеется выступ - нож, который входит в песчаный затвор кожуха печи. В кирпичной кладке свода оставляют отверстие для электрода. Диаметр отверстия больше диаметра электрода, поэтому во время плавки в зазор устремляются горячие газы, которые разрушают электрод и выносят тепло из печи. Для предотвращения этого на своде устанавливают холодильники или экономайзеры, служащие для уплотнения электродного отверстия и для охлаждения кладки свода. Газодинамические экономайзеры обеспечивают уплотнение с помощью воздушной завесы вокруг электрода. В своде имеется также отверстие для отсоса запыленных газов и отверстие для кислородной фурмы. Для подгрузки легирующих и флюсов в печь, скачивания шлака, осмотра, заправки и ремонта печи имеется загрузочное окно, обрамленное литой рамой. К раме крепятся направляющие, по которым скользит заслонка. Заслонку футеруют огнеупорным кирпичом. Для подъема заслонки используют электромеханический привод. С противоположной стороны кожух имеет окно для выпуска стали из печи. К окну приварен сливной желоб. Отверстие для выпуска стали круглое диаметром 120 – 150 мм. Сливной желоб имеет корытообразное сечение и приварен к кожуху под углом 10 – 12° к горизонтали. Изнутри желоб футеруют шамотным кирпичом.

2.2 Электрододержатель

Электродержатель служит для подвода тока к электроду (катоду) и для зажима электродов. Головки электрододержателя делают из бронзы или стали и охлаждают водой, так как он сильно нагревается как теплом из печи, так и контактными токами. Электрододержатель должен плотно зажимать электрод и иметь небольшое контактное сопротивление. В данной печи применяется пружинно-пневматический электрододержатель.

Зажим электрода осуществляется при помощи неподвижного кольца и зажимной плиты, которая прижимается к электроду пружиной. Отжатие плиты от электрода и сжатие пружины происходят при помощи сжатого воздуха. Электрододержатель крепится на металлическом рукаве-консоли, который скрепляется с Г - образной подвижной стойкой в одну жесткую конструкцию. Стойка может перемещаться вверх или вниз внутри неподвижной коробчатой стойки. Перемещение подвижной телескопической стойки происходит с помощью гидравлических устройств. Механизм перемещения электрода должен обеспечить быстрый подъем электрода в случае обвала шихты в процессе плавления, а также плавное опускание электрода во избежание его погружения в металл или ударов о не расплавившиеся куски шихты. Скорость подъема электрода составляет 6,0 м/мин, скорость опускания 2,0 м/мин.

2.3 Механизм наклона печи

Механизм наклона печи должен плавно наклонять печь в сторону выпускного отверстия на угол 40 - 45° для выпуска стали и на угол 10 - 15 градусов в сторону рабочего окна для спуска шлака. Станина печи, или люлька, на которой установлен корпус, опирается на два опорных сектора, которые перекатываются по горизонтальным направляющим. В секторах имеются отверстия, а в направляющих – зубцы, при помощи которых предотвращается проскальзывание секторов при наклоне печи. Наклон печи осуществляется гидравлическим приводом. Два цилиндра укреплены на неподвижных опорах фундамента, а штоки шарнирно связаны с опорными секторами люльки печи.

2.4 Система загрузки печи

Загрузка печи осуществляется через верх при помощи бадьи. При загрузке печи сверху в один – два приема в течение 5 мин меньше охлаждается футеровка, сокращается время плавки; уменьшается расход электроэнергии; эффективнее используется объем печи. Для загрузки печи свод приподнимают на 150 - 200 мм над кожухом печи и поворачивают в сторону вместе с электродами, полностью открывая рабочее пространство печи для введения бадьи с шихтой.

2.5 Свод печи

Свод печи подвешен к раме. Она соединена с неподвижной стойкой электрододержателя в одну жесткую конструкцию, покоящуюся на поворотной консоли, которая укреплена на опорном подшипнике. Крупные печи имеют поворотную башню, в которой сосредоточены все механизмы отворота свода. Башня вращается вокруг шарнира на катках по дугообразному рельсу. Бадья представляет собой стальной цилиндр, диаметр которого меньше диаметра рабочего пространства печи. Снизу цилиндра имеются подвижные гибкие сектора, концы которых стягиваются через кольца тросом. Взвешивание и загрузка шихты производятся на шихтовом дворе электросталеплавильного цеха. Бадья на тележке подается в цех, поднимается краном и опускается в печь. При помощи вспомогательного подъема крана трос выдергивают из проушин секторов и при подъеме бадьи сектора раскрываются и шихта вываливается в печь в том порядке, в каком она была уложена в бадье. Во время плавления электрод прорезает в шихте колодец, на дне которого накапливается жидкий металл.

2.6 Газоотсос

Современные крупные сталеплавильные дуговые печи во время работы выделяют в атмосферу большое количество запыленных газов. Применение кислорода и порошкообразных материалов еще более способствует этому. Содержание пыли в газах электродуговых печей достигает 10 г/м3 и значительно превышает норму. Для улавливания пыли производят отсос газов из рабочего пространства печей мощным вентилятором. Для этого в своде печи делают четвертое отверстие с патрубком для газоотсоса. Патрубок через зазор, позволяющий наклонять или вращать печь, подходит к стационарному трубопроводу. По пути газы разбавляются воздухом, необходимым для дожигания СО. Затем газы охлаждаются водяными форсунками в теплообменнике и направляются в систему труб Вентури, в которых пыль задерживается в результате увлажнения. Применяют также тканевые фильтры, дезинтеграторы и электрофильтры.

3. РАСЧЕТ ЭНЕРГИИ НА РАСПЛАВЛЕНИЕ

Удельную (на 1 т жидкой стали) полезную энергию Wпол, кВт⋅ч/т расчитываем с учетом угара металла при расплавлении и перегрева металла и шлака выше температуры плавления стали [7].

 (3.1)

где kуг = 0,055 – коэффициент угара;

tпл = 1510 ºC – температура плавления стали;

tпер = 50 ºC – температура перегрева стали;

tо = 10 ºС – среднегодовая температура шихты;

qст = 79 кВт·ч/т – скрытая теплота плавления стали;

qшл= 58 кВт·ч/т – скрытая теплота плавления шлака;

C1 = 0,195 кВт·ч/т·К –удельная теплоемкость твердой стали;

C2 = 0,232 кВт·ч/т·К –удельная теплоемкость жидкой стали;

C3 = 0,340 кВт·ч/т·К –удельная теплоемкость шлака.

Вся полезная энергия на печь, МВт⋅ч:

 (3.2)

где G = 50 т – номинальная емкость печи.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ

ПЛАВИЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

Ванна печи имеет сфероконическую форму. Объем конус, занятый жидким металлом, ограничивается уровнем *C*; выше него лежит уровень шлака, а еще выше – уровень порога рабочего окна *B*. Таким образом, между уровнями верхней поверхности шлака и порога рабочего окна (определяющего максимальную вместимость ванны) предусмотрен дополнительный объем на случай всплесков шлака, перегрузки печи, небольшого случайного ее наклона или перекоса.

Основные размеры плавильного пространства печи определяем исходя из ее заданной номинальной емкости (массы жидкой стали) G, т (см. /4/).

Объем стали в ванной равен

 (4.1)

где a = 0,14 м3/т – удельный объем жидкой стали.

Полный объем ванны до порога рабочего окна:

 (4.2)

где b = 0,075 – масса шлака в долях массы стали;

с = 3,0 т/м3 – плотность жидкого шлака;

e = 0,125 – дополнительный объем ванны в долях объема жидкой стали.

Полная высота ванны:

 (4.3)

где A = 0,34.

Высота ванны складывается из высоты ее конусной H1 = 0,8·H = 0,723 м и сферической H2 = 0,2·H = 0,181 м частей.

Диаметр ванны на уровне порога рабочего окна:

 (4.4)

Диаметр плавильного пространства на уровне откосов равен

 (4.5)

где ΔH = 0,12 м.

От уровня откосов начинается плавильное пространство печи. Объем плавильного пространства намного превосходит объем ванны печи и определяется следующими соображениями [4]:

1. Высота плавильного пространства то уровня металла до свода должна обеспечить удовлетворительную работу свода. Чем она больше, тем лучше экранирован свод от прямого излучения дуги, тем меньше температура свода, тем дольше он будет работать.
2. Высота от уровня порога рабочего окна до свода должна обеспечить нужные размеры окна, возможность перекрытия окна аркой и размещения над ним кольца жесткости.
3. Объем плавильного пространства должен позволять загружать всю шихту в один прием при объемной массе 1,5 – 1,6 т/м3, когда ее объем превосходит объем жидкого металла.
4. Чем выше расположен свод, тем больше наружная поверхность печи и выше ее тепловые потери, тем больше длина и ход электрода, что увеличивает электрические потери в них и утяжеляет конструкцию печи. В виду этого при определении высоты плавильного пространства придерживаются средних значений, проверенных на работе действующих печей.

Высота плавильного пространства:

 (4.6)

Стрела свода:

 (4.7)

Размер рабочего окна определяется размерами мульд загрузочной машины или других заправочных приспособлений, возможностью заправки через него подины и стен по всему периметру печи и наблюдения за их состоянием и состоянием свода.

Ширина рабочего окна:

 (4.8)

где p = 0,25.

Высота рабочего окна:

 (4.9)

Стрела арки рабочего окна:

 (4.10)

Толщина подины равна:

 (4.11)

Диаметр кожуха печи Dk превосходит диаметр плавильного пространства D1 на двойную толщину футеровки у основания стен:

 (4.12)

где pо= 0,45 – толщина огнеупорного слоя.

5. ВЫБОР ФУТЕРОВКИ ПЕЧИ

5.1 Футеровка подины



Рисунок 5.1 Температурные швы в кладке свода печи.

а) теплоизоляционный слой; б) огнеупорный слой.

Подина играет существенную роль при плавке стали. Она работает в тяжелых тепловых и механических условиях. На раскаленную подину укладывается при загрузке холодная шихта; подина испытывает резкие температурные колебания, удары и давление, поэтому она должна иметь механическую прочность при температуре 800 –100 °С. При перемешивании жидкой ванны подина подвергается размывающему действию жидкой стали. Тепло в печи выделяется в дугах, у поверхности металла, и тепловой поток направлен от поверхности к подине. При установившемся тепловом режиме ванны значение этого теплового потока определяется тепловыми потерями через подину, которые обусловливают температурный перепад по высоте металла. В виду этого подину выполняем из трех слоев: внутреннего набивного, необходимого для того, чтобы образовать ванну со стенками, непроницаемыми для жидкого металла; среднего, состоящего из кирпичной огнеупорной кладки и воспринимающего механическую нагрузку от набивного слоя; наружного теплоизоляционного слоя, работающего в более легких тепловых условиях и обеспечивающего необходимое тепловое сопротивление подины. Внутренняя и средняя часть подины выполняются их магнезита. Наружная часть кладки (теплоизоляция) выполняется из шамотного порошка и асбеста [4]. Подину готовят следующим образом: на металлический каркас дна печи укладывают слой 20 мм листового асбеста. На этот подготовительный слой, скрывающий все неровности кожуха (например, сварочные швы), укладывают "на плашку" три слоя шамотные кирпичи (рис. 5.1, а), а на них на них "на ребро" четыре слоя огнеупорного кирпича (рис. 5.1, б). Магнезитовые кирпичи укладывают без раствора, тщательно притирая их друг к другу. Швы и ряды кирпичей пересыпают мелким магнезитовым порошком для лучшего заполнения швов кладка каждого ряда простукивается деревянными молотками. Ряды кирпичей должны взаимно перекрываться, т. е. швы соседних рядов не должны совпадать. Через каждые пять – восемь кирпичей в обоих направлениях необходимо делать температурные швы шириной 3 –4 мм. Набивной слой подины представляет собой массу, состоящую из магнезитового порошка. Толщина набивного слоя 90 мм.

5.2 Футеровка стен

Стены выкладывают их магнезитохромитового кирпича всухую с пересыпкой швов магнезитовым порошком. Так как ванна печи имеет круглую форму, то, кроме нормальных кирпичей применяют фасонные. Они более стойки по сравнению с тесаными, поэтому теску кирпичей желательно свести к минимуму. Через каждые 1200 – 1500 мм в стенах оставляют вертикальные температурные швы шириной 10 – 15 мм радиального направления, заполненные толем.

Рабочие окна печи обрамляют столбиками и перекрывают аркой из одного или двух рядов кирпича "в перевязку". Срок службы арок должен соответствовать сроку службы стен.

5.3 Футеровка свода

Свод печи выкладывается из хромомагнезита. Свод из такого кирпича служит в 1,5 –2 раза дольше динасовых [4]. Недостатками хромомагнезита является его высокая теплопроводность и большая плотность по сравнению с динасом, что приводит к утяжелению свода.

6. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ПЕЧИ

6.1 Тепловые потери через футеровку стенок печи

Стена имеет один слой огнеупорной кладки из магнезитохромита. Демпферный слой засыпки толщиной 40 мм в расчет можно не вводить, полагая что его тепловым сопротивлением можно пренебречь.

Определим удельные тепловые потери для двух крайних случаев – при полной толщине новой огнеупорной кладки и при изношенной на 50 % огнеупорной кладке.

По данным [5] коэффициент теплопроводности магнезитохромитового кирпича λ=3,88 – 1,48⋅10 -3 tср.

Температуру внешней поверхности стенки выбираем так, чтобы удельный тепловой поток через стены соответствовал удельной теплоотдаче с поверхности кожуха. Температуру внутренней поверхности огнеупорной кладки принимаем равной t1 = 1600 °C. Температура внешней поверхности кладки t2 = 290 °C и для этих условий определяем коэффициент теплопроводности:

 (6.1)

Удельные тепловые потери через стенку новой кладки:

 (6.2)

где δ = 0,45 – толщина стенки новой кладки, м.

При изношенной огнеупорной кладке для определения тепловых потерь зададимся температурой кожуха t2 = 390 °C. Коэффициент теплопроводности магнезитохромитового кирпича при этих условиях

 (6.3)

Удельные тепловые потери через стенку изношенной кладки:

 (6.4)

# Для средней толщины стены 0,75⋅0,45 = 0,34 м расчетные удельные тепловые потери:

 (6.5)

Расчетная внешняя поверхность стены:

 (6.6)

Тепловые потери через футеровку стены:

 (6.7)

6.2 Тепловые потери через футеровку свода печи

Расчет аналогичен расчету футеровок стен. В качестве материала футеровки свода использован хромомагнезит. Коэффициент теплопроводности хромомагнезита λ=1,95 – 0,13⋅10 -3 tср.

Произведем расчет для полной толщины стенки свода. Температуру внешней поверхности свода принимаем равной t2 = 240 °C

 (6.8)

Удельные тепловые потери через стенку новой кладки:

 (6.9)

где L = 0,53 – толщина стенки новой кладки свода, м.

При изношенной огнеупорной кладке для определения тепловых потерь зададимся температурой кожуха t2 = 315 °C. Коэффициент теплопроводности хромомагнезита при этих условиях

 (6.10)

Удельные тепловые потери при изношенной кладке:

 (6.11)

# Для средней толщины свода 0,75⋅0,53 = 0,40 м расчетные удельные тепловые потери:

 (6.12)

Расчетная внешняя поверхность свода:

 (6.13)

где Rсв= 5,25 м – радиус кривизны свода.

Тепловые потери через футеровку свода:

 (6.14)

6.3 Тепловые потери через футеровку подины

Удельные тепловые потери через футеровку подины определяем по следующим исходным данным. Огнеупорная часть подины выполняется из четырех слоев магнезитового кирпича "на ребро" (4×115 = 460 мм) и набивки толщиной 90 мм из магнезитного порошка, замешанного из смеси смолы и пека. Для упрощения расчета коэффициент теплопроводности принимаем таким же, как для магнезитового кирпича. Для плотного магнезита марки МП-89 по данным [5] λ1 = λ2 = 13,8 – 7,6⋅10 -3 tср.

## Теплоизоляционная часть футеровки подины выполняется из четырех слоев легковесного шамота типа ШЛБ – 1,3 "на плашку" суммарной толщиной 195 мм, которые обеспечивают необходимое тепловое сопротивление. Коэффициент теплопроводности такого кирпича λ3 = 0,5 + 0,36 ⋅10 -3 tср. Шамотные кирпичи укладываются на слой асбеста толщиной 20 мм. Теплопроводность асбеста λ4 = 0,128 + 0,255⋅10 -3 tср.

Для определения удельных потерь принимаем температуру внутренней поверхности футеровки подины t1 = 1600 °C и температурой внешней поверхности футеровки t5 = 170 °C, а также температурами на границах слоев футеровки t2 = 1480, t3 = 1140, t4 = 445 °C. Значения этих температур выби-



Рисунок 6.1 Распределение температур в

сечении четырехслойной футеровки подины.

раются из условия равенства удельного теплового потока через каждый слой футеровки и удельной теплоотдачи с поверхности кожуха на основании данных предварительного расчета.

При этих условиях

 (6.15)

 (6.16)

 (6.17)

 (6.18)

Удельный тепловой поток через подину:

 (6.19)

где δ1, δ2, δ3, δ4 – толщины набивного, огнеупорного, шамотного и асбестового слоев соответственно.

Температура на границе огнеупорного и теплоизоляционного слоя t3 = 1140 < tдоп = 1300 °C (максимально допустимой для легковесного кирпича ШЛБ-1,3).

Расчетная внешняя поверхность подины:

 (6.20)

где Rпод = 4,8 м – радиус кривизны подины;

E = 0,768 м – толщина подины.

Тепловые потери через футеровку подины:

 (6.21)

6.4 Суммарные потери через футеровку печи:

 (6.22)

6.5 Потери через рабочее окно

Поверхность воспринимающая излучение из печной камеры:



где M = 1,21 – ширина рабочего окна;

N = 0,847 – высота рабочего окна;

ΔN = 0,157 – высота арки рабочего окна.

Среднюю расчетную температуру излучающей поверхности печной камеры для периода расплавления примем равной t = 1450 °C при 1450 °C удельные потери излучением составляют qизл= 408 кВт/м2. Тогда искомые потери излучением через рабочее окно

 (6.23)

6.6 Тепловые потери с газами

Для определения тепловых потерь с газами необходимо на основании опытных данных знать среднее количество воздуха подсасываемого в печь в различные периоды плавки. Поэтому исходя их опыта эксплуатации действующих печей принимаем

 (6.24)

6.7 Тепловые потери в период межплавочного простоя

Во время межплавочного простоя тепловые потери дуговой сталеплавильной печи складываются из потерь через футеровку; потерь излучением через окно; потерь с газами; потерь раскрытой печи при загрузке печи и при подвалке.

Первые две составляющие тепловых потерь в первом приближении можно принимать такими же, как и в период расплавления. Потери с газами в период межплавочного простоя обычно не превышают 50 % аналогичных потерь периода расплавления. Это объясняется тем, что при отсутствии газовыделения внутри печи в этот период количество отсасываемых от печи газов существенно снижается, в результате чего существенно уменьшается и количество подсасываемого в печь воздуха.

Потери раскрытой под загрузку и подвалку печи относим к неучтенным потеря, так как расчет их связан со значительными трудностями.

С учетом сказанного тепловые потери печи в период межплавочного простоя можно определять следующим образом:

 (6.25)

где Kн = 1,15 коэффициент неучтенных потерь.

7. ВЫБОР ПЕЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Суммарное количество электрической энергии, которую необходимо выделить в дуговой сталеплавильной печи в период расплавления, можно найти из выражения:

 (7.1)

где Wполезн = 21360 кВт⋅ч – энергия расплавления рассчитанная по (3.2);

τр = 2 ч – длительность периода расплавления;

τпр = 0,7 ч – длительность периода межплавочного простоя;

Wэкз = 4272 кВт⋅ч – энергия экзотермических реакций в период расплавления (20 % от Wполезн согласно [7]);

ηэл = 0,9 электрический к.п.д.

Удельный расход электроэнергии на 1 т металла:

 (7.2)

Средняя активная мощность выделяемая в период расплавления:

 (7.3)

Мощность печного трансформатора Sт должна обеспечить в период расплавления ввод в печь активной мощности Pр.

 (7.4)

где kи = 0,92 – коэффициент использования [7];

cos*φ* = 0,707 – коэффициент мощности.

Выбираем трансформатор ЭТЦПК-32000/35-71У3:

наибольшая мощность трансформатора 20000 кВА;

номинальное первичное напряжение 35000 В;

предельные значения вторичных напряжений 407–144 В;

номинальный вторичный ток 28 кА.

Остальные параметры трансформатора приведены в таблице 7.1.

Данный трансформатор имеет дополнительную специальную обмотку с током, пропорциональным току НН. Это связано с тем, что возросшие токи стороны НН не позволяют использовать серийно выпускаемые трансформаторы тока (ТТ) с установкой их на короткие сети [8].

Трансформатор допускает при любом положении указателя переключающего устройства периодическую перегрузку по току на 20 % длительностью 2 ч, чередующиеся с номинальным режимом длительностью 2,5 ч.

Таблица 7.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Мощность, кВА | Сторона ВН | | Сторона НН | Схема и группа соединения обмоток |
| Ток, А | Номер ступени | Напряжение, В |
| 20000  19000  18290  17500  16800  16100  15500  14750  13740  12980  12310 | 330  313  301  288  277  265  256  243  226  2141  203 | 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11 | 407  388  371  355  341  327  315  295  279  263  250 | Д/Д-0 |
| 11550  10980  10560  10100  9690  9290  8940  8510  7930  7480  7100 | 190  181  174  166  160  153  147  140  130  123  117 | 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11 | 235  224  214  205  196  188  181  170  160  152  144 | У/Д-11 |

8. РАСЧЕТ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОРОТКОЙ СЕТИ

Активное сопротивление проводника при протекании постоянного тока и отсутствии внешних меняющихся по величине магнитных полей равно по [9, с. 240]:

 (8.1)



Для расчета сопротивлений короткой сети необходимо найти длину и площадь поперечного сечения ее элементов. В практике конструирования сечение элементов короткой сети выбирают исходя из величин средних расчетных плотностей токов, а уже после ее проектной разработки проверяют тепловые режимы проводников.

Допустимая плотность тока для:

шинного пакета (не более) j1 = 1,55 А/мм2 ;

водоохлаждаемых гибких кабелей j2 = 4.5 А/мм2 по [9, с. 84] ;

медных токопроводящих труб j3 = 3.5 А/мм2.

Для определения токовой нагрузки необходимо выбрать максимальное напряжение печи. Обобщая многолетний опыт эксплуатации печей принимаю UП = 500 В.

Тогда, токовая нагрузка печи:

 (8.2)

где Pp = 12156 кВт средняя активная мощность выделяемая в период расплавления согласно (7.3).

Исходя из токовой нагрузки IЭ = 24,3 кА, ориентировочные сечения короткой сети:

Сечение шинного пакета

; (8.3)

Сечение гибких водоохлаждаемых кабелей

 ; (8.4)

Сечение водоохлаждаемых трубошин

 . (8.5)

С учетом ориентировочных размеров и конструктивных особенностей элементов короткой сети шинный пакет набирается из прямоугольных медных шин (рис. 8.1).

Сечение шины 330×10 (медь листовая ГОСТ 495-70).

Сечение пакета SШИН = 5 (330×10) = 16500 мм2.

330 мм

10 мм

20 мм

Рис. 8.1 Шинный пакет

Для соединения подвижного и неподвижного участков токопровода применяем медные кабели в резинотканевых рукавах. Кабель содержит голый медный провод помещенный в стандартный резинотканевый рукав с внутренним диаметром 65 мм (МГЭ-1000 ГОСТ 20685-75). Расчетное сопротивление кабеля 0,022 мкОм/м.

SГИБ = 2 (4×1000) = 8000 мм2 (8.6)

Конструктивно гибкий токопровод состоит из 2-х блоков, каждый блок содержит 4-е кабеля МГЭ-1000.

Участки токопровода на подвижных рукавах и траверсах печей, а также стационарные участки токопровода в зонах интенсивного тепловыделения, выполняются, как правило, из водоохлаждаемых медных труб (трубошина).

Параметры трубы ∅ 60×15 (рис. 8.2),

D = 60 мм – внешний диаметр , а = 15 мм – толщина стенки трубы.

∅ 60 мм

15 мм

Рис. 8.2 Трубошина

Сечение одной трубошины:

. (8.7)

Выбираем количество труб равное 6 (∅ 60 × 15).

Сечение пакета трубошин SТРУБ =7422 мм2.

Схематично короткую сеть проектируемой печи можно представить :

R1 R2 R3 R4 R5 R6 R7 R8

Рис. 8.3

На рис. 8.3 обозначены: R1 – сопротивление электрода; R2 – сопротивление контакта щека-электрод; R3 – сопротивление контактной щеки; R4 – сопротивление трубошины; R5 – сопротивление гибких кабелей;

R6 – сопротивление шинного пакета; R7 – сопротивление компенсатора; R8 – переходное сопротивление контактов плоских шин.

Выполним расчет сопротивлений каждого элемента короткой сети.

Для расчета активного сопротивления электрода необходимо определить его диаметр

 (8.8)

где j = 18 А/мм2 – допустимая плотность электрического тока в электроде.

Сопротивление верхнего электрода:

 (8.9)



Общее сопротивление контакта щека-электрод (на полюс) по [9, с. 251].

 (8.10)

Сопротивление контактной щеки (здесь и далее используя (8.1)).

 (8.11)

где Sn = 0,2 м2 – площадь поперечного сечения щеки;

l = 0,06 м – толщина щеки;

t1= рабочая температура, по [9, стр. 45];

ρщ = 0,03·10-6 Ом·м – удельное сопротивление щеки (материал латунь)

Сопротивление пакета трубошин верхнего электрода.

 (8.12)

где ST = 7422 мм2 – сечение пакета трубошин верхнего электрода;

lT = 1750 м – длина трубошин;

t2 = 50 ºC – рабочая температура [4, с. 45];

ρм = 0,018·10-6 Ом·м – удельное сопротивление меди.

Сопротивление гибких кабелей верхнего электрода

 (8.13)



Сопротивление гибких кабелей подовых электродов

 (8.14)



Сопротивление шинного пакета подовых электродов

 (8.15)



Сопротивление компенсатора

 (8.16)



Переходное сопротивление контактов плоских шин (при давлении 10 МПа), по [4, с. 249]. Количество контактов – 5 контактов на полюс.

 (8.17)



Сопротивление подовых электродов:

 (8.18)

 Активное сопротивление короткой сети (подовые электроды соединены параллельно).

RКС = R1в + R2в +R3в + R4в + R5в +(R1п + R2п + R3п + R5п)/2 + R6п + R7п + +R8п= 44,172·10-3 + 0,0625·10-3 + 6,6·10-3 + 4,76·10-3 + 20,2·10-3 + (14,72·10-3 + + 0,0625·10-3 + 6,6·10-3 +2,1·10-3)/2 +19,8·10-3 +0,44·10-3 +0,0012·10-3 = 0,108 мОм.

Что, согласуется с данными реальных печей по [9, таб. 3.5]  
RKC = 0,259 ÷ 0,078 мОм.

Падение напряжения в короткой сети:

. (8.19)

Потери мощности в короткой сети печной установки:

 (8.20)

9. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

9.1 Обоснование выбора схемы преобразователя

Для питания печи использован полупроводниковый трехфазный управляемый мостовой выпрямитель. Основное преимущество данной схемы по сравнению со схемой Маркса это низкий коэффициент пульсации. Кроме этого данная схема не требует завышенной мощности печного трансформатора.

****

Рис. 9.1 Схема трёхфазного мостового выпрямителя.

Управляемый выпрямитель является ключевым элементом быстродействующего регулятора напряжения, который поддерживает требуемый ток дуги в различных режимах печи. Кроме этого обеспечивается защита от короткого замыкания электрода, которое часто происходит в процессе плавки. Вместе с тем существенным недостатком данной схемы является низкий коэффициент мощности, особенно при глубоком регулировании. Первые гармоники токов приобретают сдвиг равный φ ≈ α + γ/2. В связи с этим одной из задач при автоматическом регулировании мощности дуги является уменьшение угла коммутации – α тиристорного выпрямителя. В идеале при α = 0 характеристики данной схемы сходны с характеристиками неуправляемого диодного выпрямителя собранного по схеме Ларионова, анализ которой приведен ниже.

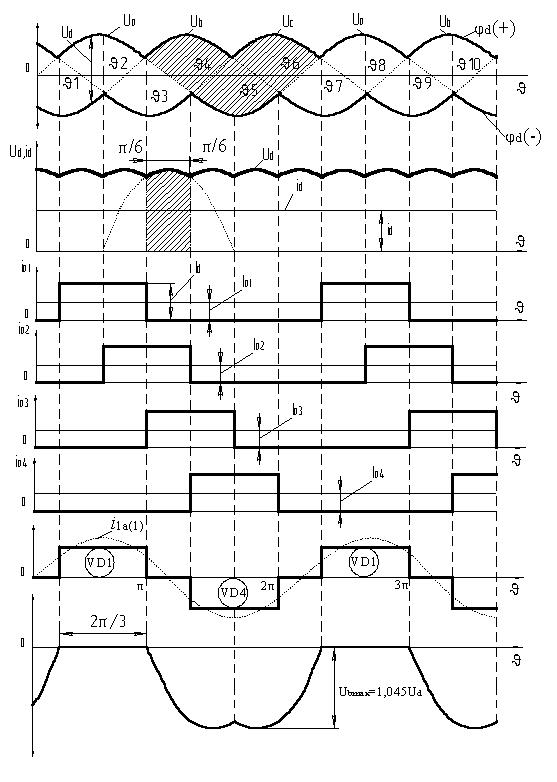
Схема трёхфазного мостового выпрямителя (рис.9.1) содержит выпрямительный мост из шести вентилей. В нижней группе вентили соединены катодами (катодная группа), а в верхней – анодами (анодная группа). Нагрузка подключается между точками соединения катодов и анодов вентилей. Схема допускает соединение как первичных, так и вторичных обмоток трансформатора звездой или треугольником. Она может быть применена и без трансформатора.

Анализ схемы проводится при активно-индуктивной нагрузке, наиболее распространенной на практике. Индуктивности рассеяния обмоток трансформатора и индуктивности питающей сети принимаются равными нулю, а индуктивность LН→ ∞. Рассмотрение проводится с использованием временных диаграмм, приведённых на рис. 9.2.

В схеме с нулевым выводом ток нагрузки создается под действием фазного напряжения вторичной обмотки, а в мостовой схеме – под действием линейного напряжения. Ток нагрузки здесь протекает через два вентиля, один из которых расположен в катодной группе, а другой – в анодной.

Из катодной группы в открытом состоянии будет находиться тот из вентилей, напряжение анода которого имеет положительную полярность относительно нулевого вывода (фазное напряжение) и наибольшую величину по сравнению с другими вентилями. Из анодной группы открытое состояние принимает тот из вентилей, напряжение катода которого в данный момент является наибольшим и имеет отрицательную полярность.

Рис. 9.2 Временные диаграммы неуправляемого трехфазного мостового выпрямителя при L→∞.



Иными словами, в проводящем состоянии будут находится те два накрест лежащих вентиля выпрямительного моста, между которыми действует в проводящем направлении наибольшее линейное напряжение. Укажем на диаграммах фазных напряжений (рис. 9.2) интервалы проводимости вентилей: на интервале υ1 – υ2 проводят вентили VD1, VD6, на интервале υ2 – υ3 – вентили VD1, VD2, на интервале υ3 – υ4 – вентили VD2, VD3, на интервале υ4 – υ5 вентили VD3, VD4 и т.д. Таким образом, интервал проводимости каждого вентиля составляет ψ = 2π/3, а интервал совместной работы двух вентилей равен π/3. За период напряжения питания происходит шесть переключений вентилей. Схема работает в шесть тактов, в связи с чем её часто называют шестимпульсной.

Определим кривую выпрямленного напряжения ud. Наиболее просто это можно сделать, показав кривые изменения потенциалов выводов нагрузки φd(-) и φd(+) относительно нулевого вывода вторичных обмоток трансформатора (рис. 9.2). Кривая изменения потенциала φd(+) формируется из участков фазных напряжений положительной полярности при проводимости вентилей катодной группы, а кривая φd(-) – из участков фазных напряжений отрицательной полярности при проводимости вентилей анодной группы. Разность указанных потенциалов определяет напряжение нагрузки ud. Кривая ud, показанная на рис. 9.2, состоит из участков линейных напряжений вторичных обмоток трансформатора.

Среднее значение выпрямленного напряжения находят по среднему значению напряжения ud за период повторяемости π/3 (заштрихованный участок на рис. 9.2).

 (9.1)

где U2 – номинальное напряжение на вторичной обмотке печного трансформатора

Напряжение на нагрузке по сравнению с трехфазной схемой с нулевым выводом получается большим. Это объясняется тем, что трехфазная мостовая схема выпрямителя представляет собой как бы две трехфазные схемы с нулевым выводом, выходы которых включены последовательно. При заданном напряжении Ud здесь требуется вдвое меньшее напряжение U2:

, (9.2)

что сокращает число витков вторичной обмотки печного трансформатора и снижает требования к изоляции.

Поскольку период повторяемости кривой ud равен 2π/6, трехфазная мостовая схема эквивалентна шестифазной в отношении коэффициента пульсации и частоты ее первой гармоники. Коэффициент пульсации по первой гармоники находят подстановкой в выражение (9.3) m = 6, откуда следует что амплитуда первой гармоники пульсации составляет 5,7 % от напряжения Ud против 25 % для трехфазной схемы с нулевым выводом. Частота первой гармоники пульсации шестикратна частоте питающей сети и равна 300 Гц, вторая гармоника имеет частоту 600 Гц и т.д.

, (9.3)

Ток нагрузки из-за наличия в ней индуктивности сглажен. На рис. 9.2, он представлен прямой линией со значением Id = Ud/Rн. Поскольку каждый вентиль проводит ток в течении трети периода, среднее значение анодного тока Ia= Id/3. Кривые токов вентилей показаны на рис. 9.2.

При открытом состоянии двух вентилей выпрямительного моста другие четыре вентиля приложенным к ним обратным напряжением. Кривую обратного напряжения строят так же, как и для трехфазной схемы с нулевым выводом. Так, например, потенциал анода закрытого вентиля VD1 следует за фазным напряжением Ua, а потенциал катода за напряжением Ub при проводимости вентиля VD3 или за напряжением uc при проводимости вентиля VD5 (так катода равен потенциалу шины φd(+) нагрузки). Разность напряжений между анодом и катодом определяет кривую Ub1 вентиля VD1. Как и в трехфазной схеме с нулевым выводом, кривая обратного напряжения составляется из участков линейных напряжений вторичных обмоток трансформатора и ее максимальная величина равна амплитуде линейного напряжения Ub max = U2. Однако ввиду вдвое большего среднего значения напряжения на нагрузке соотношение между Ub max  и Ud здесь получается более предпочтительным, чем в трехфазной схеме с нулевым выводом:

. (9.4)

Таким образом, вентили в трехфазной мостовой схеме следует выбирать на напряжение, близкое к Ud.

Кривая тока вторичной обмотки трансформатора определяется токами двух вентилей, подключенных к данной фазе. Один из вентилей входит в анодную группу, а другой – в катодную. Так, например, ток i2a состоит из токов вентилей 1, 4. Вторичный ток является переменным, имеет форму прямоугольных импульсов с амплитудой Id и паузой между импу4льсами длительностью π/3, когда оба вентиля данной фазы закрыты. Постоянная составляющая во вторичном токе отсутствует, в связи с чем поток вынужденного подмагничивания магнитопровода трансформатора в мостовой схеме не создается.

Для расчета сечения провода вторичных обмоток трансформатора определим действующее значение вторичного тока:

. (9.5)

Ток первичной обмотки трансформатора связан с током его вторичной обмотки коэффициентом трансформации (i1 = i2/n, где n = ω1/ω2):

. (9.6)

Первая гармоника потребляемого тока, как и во всех неуправляемых выпрямителях (без учета коммутации вентилей), совпадает по фазе с напряжением питания.

Коэффициент трансформации n находят из отношения напряжений обмоток:

. (9.7)

Расчетные мощности первичных и вторичных обмоток равны, в связи с чем равна и расчетная (типовая) мощность всего трансформатора:

. (9.8)

В соответствии с формулой (9.8) трансформатор трехфазной мостовой схемы выпрямителя выбирают на мощность, близкую к мощности нагрузки, что также является преимуществом этой схемы.

В данном проекте в качестве преобразователя электрической энергии предусматривается управляемый вентильный преобразователь, который относится к классу статических преобразователей электроэнергии предназначенных для преобразования переменного тока в постоянный.

9.2 Расчет преобразователя

Выпрямительный режим преобразователя обеспечивает преобразование переменного тока в постоянный и заключается в циклическом переключении нагрузки с помощью тиристоров с одной фазы источника переменного напряжения на другую, при этом энергия источника передается в нагрузку. Выпрямительному режиму соответствует диапазон углов регулирования 0 ≤ α ≤ 90°. При работе тиристорного преобразователя на активно-индуктивную нагрузку выпрямленный ток, в этом же диапазоне углов регулирования, имеет непрерывный характер.

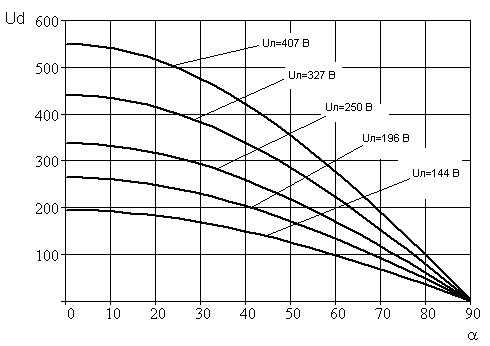
Среднее значение выпрямленной э.д.с. *Ed* связано с углом управления α выражением, по [10 c.342].

 (9.9)

где *Еd* 0 = *k1 ⋅ U2 ф* – максимальная выпрямленная э.д.с. преобразоватля, из формулы

*k1* = 2,34 – коэффициент схемы.

Регулировочные характеристики преобразователя при различных положениях переключателя напряжений трансформатора приведены на рис 9.3.



# Рис. 9.3 Регулировочные характеристики преобразователя

9.3 Выбор тиристоров

Среднее значение тока тиристоров

 (9.10)

где kiv = 3 – для трехфазной мостовой схемы

Номинальный ток тиристоров

 (9.11)

где kv = 1,6 – коэффициент запаса выбирается из условий обеспечения надежной работы тиристора.

Максимальная величина обратного напряжения прикладываемого к тиристору

 (9.12)

где kumax = 1,045 – коэффициент схемы, отношение максимального обратного напряжения к среднему выпрямленному напряжению.

Используя стандартные тиристорные системы, основными в которых являются секции управляемых выпрямителей, нереверсивный мостовой выпрямитель образуется секциями СУВ-А. Технические данные секций приведены в табл. 2.6.

Таблица 9.1

|  |  |
| --- | --- |
| Параметры | СУВ-А |
| Номинальный ток , А | 12500 |
| Число тиристоров в одном плече | 20 |
| Допустимый ударный ток в течение 10 мс , кА | 220 |
| Максимально допустимое значение интеграла квадрата аварийного тока в течение 10 мс , МА | 235 |

Конструктивно секции выполнены в виде шкафа двухстороннего обслуживания, в котором размещены тиристоры типа Т-630, предохранители типа ПП-57, индуктивные делители тока, формирователи управляющих импульсов, RC-цепочки для защиты тиристоров от коммутационных перенапряжений, ячейки схемы бесконтактного контроля перегорания предохранителей. Тиристоры установлены на шести водоохлаждаемых шинах квадратного сечения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА  
ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНЛЗ

Технологический процесс состоит из пяти основных этапов:

I этап – плавка стали в дуговой сталеплавильной печи постоянного тока;

II этап – разливка стали;

III этап – нагрев стали;

IV этап – зачистка стали;

V этап – прокатка.

Рисунок П1.1 Схема техпроцесса электросталеплавильного  
и прокатного цехов с использованием МНЛЗ

##### ПРИЛОЖЕНИЕ 2

РАСПОЛОЖЕНИЕ ДУГОВОЙ ПЕЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ЦЕХЕ



Рисунок П2.1 Схема расположения печи

1 – стойка; 2 – шахта; 3 – трансформатор; 4 – выпрямитель; 5 – электрододержатель; 6 – графитированный электрод; 7 – механизм для подъема свода; 8 – портал; 9 – центральная часть свода; 10 – водоохлаждаемый свод; 11 – водоохлаждаемые стены; 12 подовые электроды; 13 – водоохлаждаемые кабеля.СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Электрооборудование и автоматика электротермических установок. Справочник. Под. Ред. Альтгаузена А. П., – М.: Энергия, 1978. – 304с., ил.

2. Свенчанский А.Д., Смелянский М. Я. Ч. 2. Дуговые печи. Учебное пособие для вузов, – М.: Энергия, 1970, – 264 с.

3. Электротермические оборудование. Справочник. Изд .2-е перераб. и доп. /Под общей ред. А. П. Альтгаузена. – М.: Энергия, 1980. – 418 с., ил.

4. Электрические промышленные печи. Дуговые печи и установки специального нагрева. Учебник для вузов. Свенчанский А. Д., Жердов И. Т., Кручинин А. М. и др. Под ред. Свенчанского А. Д.. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с., ил.

5. Кацевич Л. С. Теория теплопередачи и тепловые расчеты электрических печей. Учебник для техникумов. М.: Энергия, 1977.

6. Крамаров А. Д. Производство стали в электропечах. Изд. 3-, испр. и дополн. – М.: Металлургия, 1969. – 348 с.

7. Макаров В. С., Цишевский В. П. Проектирование дуговых сталеплавильных печей. Методические указания к курсовому проекту. Под ред. Ткачева Л. Г. – Екатеринбург: МЭИ, 1988.

8. Трансформаторы для промышленных электропечей. В. Ш. Аншин, А. Г. Крайз, В. Г. Мейксон; Под ред. А. Г. Крайза – М.: Энергоиздат, 1982. – 296 с., ил. – (Трансформаторы; Вып. 39)

9. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей. Справ. изд. Данцис Я.Б., Кацевич Л.С., Жилов Г.М. и др. М. : Металлургия, 1987. – 320 с.

10. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. Учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с., ил.