**Задание**

Ёмкость конвертера 125 т.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Готовая сталь **12ГС**ГОСТ 19282-73 | С | Mn | Si | P | S | Cu | Ni | Сr |
| 0,12-0,18 | 0,4-0,7 | 0,17-0,37 | Не более 0,035 | Не более 0,035 | Не более 0,3 | Не более 0,3 | Не более 0,7-1 |

В графической части представлен порционный вакууматор.

# Введение

Качество стали – это постоянно действующий фактор, который на всех исторических этапах побуждал металлургов искать новые технологии и новые инженерные решения. Ограниченные возможности регулирования физических и физико-химических условий протекания процессов плавки в традиционных сталеплавильных агрегатах (конвертерах, дуговых, мартеновских и двухванных печах) привели к созданию новых сталеплавильных процессов, комплексных технологий, обеспечивающих получение особо чистых по содержанию нежелательных примесей марок стали.

В тех случаях, когда технологические операции, обеспечивающие получение металла требуемого качества, непосредственно в самом агрегате приводят к потере его производительности, их выполняют во вспомогательной емкости (ковше или др.), то есть переводят в разряд внепечной, или вторичной, металлургии. Основную цель вторичной металлургии можно сформулировать как осуществление ряда технологических операций в специальных агрегатах быстрее и эффективнее по сравнению с решением аналогичных задач в обычных сталеплавильных агрегатах быстрее и эффективнее по сравнению с решением аналогичных задач в обычных сталеплавильных печах. В настоящее время методами внепечной металлургии обрабатывают сотни миллионов тонн стали массового назначения. Установки для внепечной обработки имеются практически на всех заводах качественной металлургии. Обработке подвергают металл, выплавленный в мартеновских печах, дуговых печах и конвертерах.

# 1. Обоснование параметров сталеразливочного ковша

Выход годной стали до раскисления – MМеп/д раск = 91,55 т.

 т, следовательно, выбираем ковш ёмкостью 130т.

##

Рис. 1 - Основные размеры кожуха 130-т сталеразливочного ковша

## 1.1 Выбор и обоснование футеровки сталеразливочного ковша

С пуском агрегата ковш-печь ужесточились требования к футеровке ковшей по металло- и шлакоустойчивости, теплопотерям, температуре футеровки перед приёмом плавки.

В данном курсовом проекте предлагаю использовать конструкцию футеровки 130 – т ковша разработанную и усовершенствованную на Магнитогорском металлургическом комбинате.[8]

Рис. 2

|  |
| --- |
| Периклазофорстеритоуглеродистый огнеупор MgO=65-80%, SiO2 20% и С незначительно  |
| Плотность  ,кг/м3 | Температура 0С | Теплопроводность  ,Вт/(м К) | Теплоёмкость с ,кДж/(кг К) | Температуропроводность а ,м2/ч |
| огнеупорность | начала деформации | рабочая |
| 2600-2800 | 2200-2400 | 1500-1700 | 1650-1700 | 4,7-170 =2,37 | 1,05+29 | 3 |

##

## 1.2 Выбор дутьевых продувочных устройств

Наиболее преимущественным (простота устройства, отсутствие дополнительных огнеупорных материалов) способом продувки является продувка металла через шиберный затвор.

Газ вводят через металлическую трубку-фурму диаметром 8-16 мм, вставленную в выпускные отверстия деталей шиберного затвора. По окончанию продувки подвижная плита устанавливается в положение «закрыто» и при этом она перерезает трубку фурму.

# 2. Расчет основных параметров обработки стали

##

## 2.1 Расчёт раскисления и легирования

Для данного расчета при выплавке стали марки 12ГС принят следующий угар элементов раскислителей: углерода – 15%; марганца – 15%; кремния – 20%; хрома - 10. Угар алюминия условно принимаем равным 100%, а расход его зависит от марки выплавляемой стали. В данном расчете расход алюминия принят равным 0,030%.

В таблице 2 приведен принятый состав ферросплавов.

Таблица 2 – Состав примененных ферросплавов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ферросплав | Марка | Содержание элементов % |
| C | Mn | Si | P | S | Cr | Al |
| Феррмарганец | Мп4 | 6,5 | 76 | 2 | 0,38 | сл | - | - |
| Ферросилиций | СИ45 | 0,3 | 0,8 | 45,0 | 0,05 | сл | - | - |
| Феррохром | Фх010 | 0,1 | - | 1,5 | 0,03 | 0,03 | 65-73 | - |

Среднезаданное содержание элементов в рассчитываемой стали 30Х принято равным: [Mn]=0,55% , [Si]=0,27%, [Cr]=0,9

Необходимое количество каждого ферросплава определяется по формуле:

Мраск =  кг,

где Мст – выход жидкой стали в конце продувки, кг;

[%Э]гот.ст. – содержание соответствующего элемента в готовой стали, %;

[%Э]пер.раск – содержание соответствующего элемента перед раскислением, %;

[%Э]ферроспл. – содержание соответствующего элемента в ферросплаве, %.

МFeSi =  = 0,687 кг.

МFeМп =  = 0,523 кг


## 2.2 Расчёт процесса десульфурации стали в ковше

###

### Расчет процесса десульфурации cтaлu в ковше ТШС

Химический состав ТШС:

СаО = 50%

А12О3 = 36%

SiO2 = 10%

MgO = 3%

MnO = 0%

Расход ТШС 10 кг/т стали. Необходимое количество ТШС: т.

Mпгот.ст. =0,542% , угар 20%

Siгот.ст. =0,289% , угар 20%

А1гот.ст. =0,03% , угар 100%

Таблица 3 – Состав печного шлака

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| СаО | MnO | MgO | SiO2 | А12О3 |
| 51,293% | 4,834% | 2,076% | 14,656% | 1,816% |

Принимаем, что в ковш попадает 5 % печного шлака

Таблица 4 – Количество оксидов образующихся при раскислении стали

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Элемент | Концентрация в стали % | Угар элементов | Введено в сталь с учётом угара, % | Образуется оксидов, кг |
| Mn | 0,542 | 0,065 |  |  |
| Si | 0,289 | 0,072 | 0,361 |  |
| А1 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |  |
| Cr | 0,878 | 0,098 | 0,976 |  |
| ИТОГО | 6,86 |

Таблица 5 - Изменение состава рафинировочного шлака

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Материал | Кол-во | Состав, кг |
| СаО | А12О3 | SiO2 | MgO | MnO | Сr2O3 |
| ТШС | 10 | 5 | 3,6 | 1 | 0,3 | - | - |
| Оксиды | 6,86 | - | 1,28 | 1,64 | - | 0,89 | 3,05 |
| Печной шлак | 5 | 2,565 | 0,091 | 0,739 | 0,104 | 0,242 | - |
| Футеровка ковша (MgO =92%, CaO=20%) | 1,5 | 0,015 | - | - | 1,38 | - | - |
| Итого | 23,36 | 7,58 | 4,971 | 3,379 | 1,784 | 1,132 | 3,05 |

Состав конечно шлака:

CaO=⋅100=32,449%; SiO2=⋅100=14,465%;

MnO=⋅100=4,846%; Al2O3=⋅100=21,28%;

MgO=⋅100=7,637 %;

Выполним расчет коэффициента распределения серы Ls.



где (СаО), (Аl2О3), (SiO2), (MgO) - химический состав рафинировочного шлака в конце обработки. %;

*fs* - коэффициент активности серы, растворенной в металле, принимается *fs* =1, по этому lg*fs =*0

Т - температура металла, 1903 К.

 - активность кислорода

2[Al]+ 3[O] = Al2O3

Константа этой реакции будет равна  = 10-12, следовательно активность кислорода определим по формуле:



, а = -2,985

Тогда коэффициент распределения серы будет равен:

,

тогда

=23,362

****

где  - коэффициент кратности шлака .

****

Определим конечное содержание серы в металле после обработки ТШС



##

## 2.3 Определение снижения температуры металла

Снижение температуры складывается из: потерь тепла при раскислении металла Траскисл; потерь при обработке металла ТШС; потерь тепла при выпуске металла из агрегатаТвып; потерь тепла при выдержке металла в ковше Твыдерж; потерь тепла через футеровку ковша Тфут; потерь при продувке металла аргоном. Таким образом, определится температура. на которую будет необходимо нагреть металл в печь-ковше.

Тнагр =Траскисл +ТТШС +Твып+Твыдерж +Тфут +Тпрод

###

### Изменение температуры металла при раскислении





### Изменение температуры металла при обработке ТШС

*- Затраты тепла на нагрев ТШС до температуры разложения известняка:*

, кДж

где  - теплоёмкость смеси,1,246 кДж/кг0С;

Тразл – температура разложения, 9100С;

 - количество ТШС, 10 кг.



*- Затраты тепла на разложение извести:*

Количество извести в ТШС МСао=5 кг.

Количество СО2, получаемое при разложение недопала, принимаем ППП=5,00%. М СО2=5 5/100=0,25 кг

*- Количество разлагаемого известняка при этом составит:*

М СаСОз=0,25100/44= 0,568 кг

q2= М СаСОз 1776,5=0,5681776,5 = 1009,05 кДж

*- Затраты тепла на расплавление смеси:*

q3=Mсмеси(C смеси (Тст-Tразл)+qск. теплота пл),

где M смеси = M ТШС - МСО2

M смеси = 10-0,25 = 9,75 кг

Тст= 1630 0С

qск. теплота пл – скрытая теплота плавления, 210 кДж

q3 =9,75(1,246(1630-910)+210)=10794,42 кДж

*- Затраты тепла на нагрев СО2 до температуры стали:*

q4=2,4MСО2(22,4/44) (Тст-Tразл)

q4=2,40,25(22,4/44) (1630-910)=219,927 кДж

Изменение температуры металла при обработке ТШС определяется по формуле:

ТТШС=( q1+ q2+ q3+ q4)/0,835,

и составляет ТТШС=27,979 0С.

### Изменение температуры металла при выпуске металла из сталеплавильного агрегата

Зависимость потерь температуры стали за счет излучения от времени выпуска определяется по формуле:



где  - степень черноты жидкой стали,  = 0,4;

 - константа излучения абсолютно черного тела, =5,77510-8 Вт/(м2К4);

Т-температура стали на выпуске, 1903 К;

F - площадь излучающей поверхности жидкой стали в струе и на зеркале ковша, м2;

М - масса металла в ковше, кг;

с - удельная теплоемкость стали, равная 850 Дж/(кг · К);

 - время выпуска металла, 4 мин.

Площадь излучающей поверхности жидкой стали принимается в струе ~ 2,5 м2. на зеркале ковша.

Общая площадь излучения жидкой стали в струе и на зеркале ковша равна

F м2

Тогда 

### Потери тепла через футеровку во время выдержки ковша

Теплота, отданная сталью на нагрев футеровки:



где  - снижение температуры стали;

с – удельная теплоёмкость стали, 0,850 кДж/(кг К);

М – масса стали в ковше, кг

Потери тепла через кладку ковша:



где  - потери тепла с 1м3 футеровки во время пребывания стали в ковше;

 – площадь огнеупорной кладки ковша (днище + стены), м2.





где  = 5,6 - теплопроводность огнеупора, Вт/(м К);

а = 5,4  10-3 – температуропроводность огнеупора, м2/ч;

Т1 и Т0 – температура стали и огнеупоров ковша соответственно, принимаем температуру футеровки 8000С;

 - время контакта огнеупора с жидкой сталью, 0,4 часа.

 Дж

Найдем площадь огнеупорной кладки ковша.



 м2

Тогда потери тепла через футеровку во время выдержки (24 минут) составят:



Потери тепла через зеркало металла излучением во время выдержки металла и течение 24 минут.



Площадь поверхности металла равна:

F м2



### Потери тепла при продувке аргоном

Во время продувки теплопотери составляют: в течение первых 3-4 минут продувки 2- 4 °С / мин, в течении остального времени продувки ~ 1 °С / мин

При времени продувки пр=4 мин и теплопотерях 3 °С / мин получим:

Тпрод =3 3 = 9°С

Общая потеря тепла составит:

Тнагр =Траскисл +ТТШС +Твып+Твыдерж +Тфут +Тпрод

Тнагр =47,011 + 27,979 + 2,58 + 29,006 + 20,968 + 9 = 136,544

## 2.4 Расчет количества и состава неметаллических включений

Определим количество неметаллических включений и их состав, исходя из условия раскисления стали с 0,12% С, 0,023% S и 0,014% Р последовательно FeMn, FeSi, Al и получением стали состава: 0,542 % Мn, 0,289% Si и 0,03 % А1.

Содержание кислорода в стали на выпуске из сталеплавильного агрегата определяем по уравнению:

*a0* = 0,00252 + 0.0032 / [С%].

Тогда при [С] = 0.12 % *a0* = 0.00252 + 0,0032 / 0,12= 0,029 % масс.

Для заданного химического состава стали









*А. Определяем количество докрмоталлизационных неметаллических включений.*

Раскисление марганцем.

Определяем количество кислорода, равновесное с 0,542 %  при Тликв = 1790,30К:

 : = 0,0094

 % масс

Таким образом, присадка в сталь 0,1 %  приведет к связыванию следующего количества кислорода в процессе раскисления и охлаждения расплава до Тликв:

 = 0,029-0,017 = 0,012 % масс.

При этом образуется следующее количество неметаллических включений (О):

 %масс.

Раскисление кремнием.

Определяем содержание кислорода, равновесное с 0,289 % Si при Тликв=1790,30К:

, 

 % масс

Следовательно, при Тликв=1790,30 К, % масс, и  % масс, после внедрения в металл 0,289 % [Si] последовательно за 0,542 % [Мп] в неметаллические включения типа SiO2 дополнительно будет связано кислорода: % масс и образуется докриеталлизационные неметаллические включения типа SiO2:

% масс

Раскисление алюминием.

Определяем содержание кислорода, равновесное с 0,03 % Аl при Тликв = 1790,30К:

, ;

при этом %масс, то есть при вводе алюминия металл будет глубоко раскислен, содержание кислорода при этом изменится так:

% масс, а количество докристаллизационных неметаллических включений типа Al2O3 составит:

% масс.

Рассчитаем общее количество и состав образующихся докристаллизационных неметаллических включений при условии, что процессы взаимодействия растворенного кислорода и элементов-раскислителей проходят последовательно с достижением состояния равновесия между кислородом и введенным элементом-раскислителем до ввода последующего раскислителя. Расчёт проводится на 1 т стали:

 ( + +)10= (0,053+0,027+0,009) 10=0,89 кг неметаллических включений на 1 т стали

Состав образовавшихся докристаллизационныч неметаллических включений следующий:







*Б Определяем количество посткрнсталлизацпонных неметаллических включении.*

Рассчитаем количество и состав количество посткрнсталлизацпонных неметаллических включении. При температуре ликвидус минимальный уровень концентрации кислорода определяется равновесием с 0,03% Al и составляет  % масс. В двухфазной области между Тликв и Тсол изменение концентрации кислорода будет определяться разницей:

 

Рассчитаем значение  по уравнению

, ;

при этом %масс

В двухфазной области между Тликв и Тсол изменение концентрации кислорода составит:

 

т.е. исключительно малую величину, находящуюся на пределе чувствительности измерения с помощью кислородных зондов и анализаторов на кислород типа "ЛЕКО". Количество посткристаллизационных неметаллических включений, состоящих только из Al2O3 ,составит:

% масс

## 2.5 Расчет модифицирования неметаллических включений

* В качестве модификатора используем силикокальций СК30 (30% Са).
* Способ присадки: порошковая проволока диаметром 10-15 мм, присаживается с помощью трайб аппарата, скорость ввода 70-200 мм/мин.

Хорошая разливаемость может быть. получена при отношении



В нашем случае содержание алюминия в металле [А1] = 0,03 %. следовательно, кальция нужно ввести в металл не менее 0,003 %.

Таким образом, на 130 тонный ковш потребуется кальция:

кг/130 т

Количество СК30 необходимого для модифицирования 

Наполнение проволоки 265-315 г/м, следовательно, на обработку понадобится  метров проволоки.

**2.6 Расчет подогрева металла**

###

### Расчет мощности трансформатора и времени нагрева металла в печь-ковше

*Расчет .мощности трансформатора*

Задаем, что скорость нагрева  =4 0С/мин*.*;в этом случае при нагреве Mст = 116,87 т потребуется подведение мощности, равной

W = 0,53 116,87 4 = 247,76 кВт ч/мин

Соответственно необходима установка трансформатора мощностью W МВА

Выбираем трансформатор мощностью 15 МВА

*Расчет времени нагрева металла в печь-ковше*

Заданное значение нагрева металла, которое необходимо достигнуть при работе печь-ковша: '

Количество тепла, необходимое для нагрева Mст = 116,87 т на 660С, составит

 МДж

Для подведения этого количества тепла к металлу, находящемуся в печь-ковше потребуется электроэнергии:

q.эл =6610,45/3,6=1836,24 кВтч, а с учетом =0,45 величина q = 1836,24/0,45 = 4140,53 кВт ч.

Время, необходимое для нагрева металла в печь-ковше, ч:

 ч или 16,56 минут

## 2.7 Расчет параметров продувки стали в печь-ковше инертным гамм

###

### Расчет времени продувки

На основании исследования поведения металла при продувке в различных агрегатах предложена следующая зависимость для расчета времени  (с), необходимого для достижения 95 %-ной гомогенизации:





где  - функция диссипации (рассеяния) энергии, Вт/т;

 - расход газа, л/с;

 - температура металла, 0К;

 - температура окружающей среды, 0К;

М – масса металла, т;

 - плотность металла,7000 кг/м3;

Н – высота металла в ковше, 2,7 м;

РА - атмосферное давление,101325 Па.

Принимаем  = 0,5 м3/мин = 30 м3/ч = 8,33 л/с,  =1903 0К, =293 0К.

 Вт/т.

 с

Для достижения наиболее полного перемешивания принимаем время продувки 3 минуты

### Расчет дегазации при продувке инертным газом

В процессе продувки пузырьки нейтрального газа экстрагируют из жидкой стали растворенные в ней газы (водород и азот) Снижение содержания растворенных газов описывается уравнением Геллера, в упрощенной форме имеющего вид:

V

где V – расход нейтрального газа, м3/т( в нашем случае );

МГ - молекулярная масса удаляемого газа ( = 2,  = 28);

КГ – константа равновесия газа;

Р – давление над расплавом, 0,1 МПа.

При температуре 1903 0К :

 ,  = 0,0027,

 ,  = 0,0249.



Подставляя к уравнение Геллера значения начальной концентрации в металле водорода и азота равные  = 0,0004 % и [N]Н = 0,004% находим содержание в металле водорода и азота после продувки - |Н|к = 0,00039 %, |N|К=0,00397 %.

## 2.8 Расчет вакуумирования

В данном курсовом проекте для наиболее эффективной дегазации металла применяем обработку вакуумом в порционном вакууматоре.

Для порционной вакуумной обработки стали, ковш с металлом на сталевозной тележке подают под вакуум-камеру. Патрубок вакуумной камеры погружают в металл; порция металла засасывается в камеру. По одному из патрубков начинают подавать инертный газ, в результате чего металл по нему направляется вверх, в вакуум-камеру, а по-другому – стекает в ковш.

### Определение основных параметров вакуумной камерыпорционного типа*.*

Рабочий объем вакуум-камеры:

где М1 – порция металла, засасываемого в камеру, 19 т.

Площадь поперечного сечения вакуум-камеры:

где h – высота металла в камере, м.

Принимаем h=400 мм.

Диаметр камеры:

Диаметр патрубка:

где t1 – время полуцикла, 12 с,

φ = 0,9.

Объем конической части вакуум-камеры:

где α – угол наклона днища камеры, 10о.

Высота конической части камеры:

hk= 0,217 м

Объем цилиндрической части камеры:

Vц = V - Vк

Vц= 2,714 – 0,584 = 2,13 м3.

Высота цилиндрической части камеры:

Уточняем h:

h = hц + hK = 0,314 + 0,217 = 0,531м

Уточняем время полуцикла:

где t1/ - время, необходимое на подъем и опускание камеры до высоты 0,531м, с,

t2/ - время вытекания металла с установившегося уровня до уровня hк, с,

t3/ - время вытекания металла из конической части, с.

где ω – скорость подъема (опускания) камеры, 10 м/мин.

t2/ = 8,02 с.

t3/ = 2 с.

t = 3,186 + 8,02 + 2 = 13,206 с.

### Проведение процесса вакуумирования

*А. Продувка металла инертным газом (аргоном)*

Найдем общее количество удаляемого аргона при продувки металла:

МАr= 

где  - плотность аргона, 1,785 кг/м3 ;

 - удельный расход аргона, 0,0011 м3/т мин;

 - масса металла, 116, 87.

МАr=  = 0,229 кг/мин

Найдем количество аргона приведенного к сухому воздуху:

 кг/ мин

*Б. Дегазация металла по водороду*

Водород из металла удаляется по реакции:

 

Найдем общее количество удаляемого водорода:



где =0,00039 % - начальное содержание водорода в металле;

=0,0002 % - содержание водорода в металле после вакуумирования;

 - масса стали в ковше.



Найдем количество водорода приведенного к сухому воздуху:

 кг за весь процесс

Найдем количество удаляемого водорода за 1 минуту, для этого примем продолжительность этапа вакуумирования 10 минут:



*В. Дегазация металла по азоту*

Азот из металла удаляется по реакции 2[N] {N2}

Найдем общее количество удаляемого азота:



где =0,00397 % - начальное содержание азота в металле;

=0,002 % - содержание азота в металле после вакуумирования;

 - масса стали в ковше.

 кг за весь процесс.

Найдем количество азота приведенного к сухому воздуху за весь процесс:

 кг

Найдем количество удаляемого азота за 1 минуту, для этого примем продолжительность этапа вакуумирования 18 минут:



*Г. Дегазация металла по углероду*

,

 принимаем равным 0,01, тогда 11,687 кг.

 кг за весь процесс.

Найдем количество СО приведенного к сухому воздуху за весь процесс:

 кг

Найдем количество удаляемого СО за 1 минуту, для этого примем продолжительность этапа вакуумирования 10 минут:



Найдём суммарное количество газов удалённых за период вакуумирования.

 МАr +  +  +  = (0,166 + 0,334 + 0,238 + 2,817)60=213,3кг/час

Расчет дегазации при вакуумировании доказывает необходимость обработки металла вакуумом, так как дегазация во время продувки инертным газом дает незначительное снижение концентрации азота и водорода в металле.

# 3. Технологические особенности внепечной обработки стали марки 15Х

###

### 3.1 Обработка металла на установке «печь-ковш»

сталь обработка внепечной десульфация

Поступивший на участок внепечной обработки стали (ВОС) сталеразливочный ковш устанавливается на сталевоз установки «печь-ковш» и он подается в позицию обработки.

Продолжительность обработки металла на установке «печь-ковш»

должна составлять, минут:

- для марок стали обыкновенного качества 25 -40

- для марок стали предназначенных для производства колес, колец, бандажей осей 30-40

- для производства рельсов 40 - 50

- для марок стали с повышенным требованием по содержанию серы и фосфора 40-50

На ковш опускается крышка установки «печи-ковша», зазор между крышкой и краем сталеразливочного ковша должен быть не более 50 мм. подсоединяется шланг для подачи аргона (азота) и после трехминутного перемешивания металла производится первый замер температуры.

При наличии донной продувки на открытое зеркало металла вводится углеродосодержащий материал для получения содержания углерода на нижнем пределе. Необходимое количество углеродсодержащих материалов, вводимых на открытое зеркало металла, определяется с учетом химического анализа ковшевой пробы металла, взятой после его слива из конвертера.

Опускаются электроды и начинается электроподогрев металла на четвертой ступени в течение 2-5 минут с вводом 300 кг извести и 100-350 кг разжижителей шлака с целью гомогенизации расплава по химическому составу, температуре и для разжижения шлака.

Шибер фурмы аварийной продувки во время эксплуатации печи ковша должен находиться в закрытом состоянии.

В процессе обработки необходимо следить за температурой отходящих газов перед рукавным фильтром и не допускать превышения температуры более 130 С0

После первоначального подогрева электроды поднимаются. Открывается заслонка крышки и проверяется пропускная способность пористой аргонной фурмы оценивается жидкоподвижность шлака и его количество по высоте над зеркалом металла, замеряется температура металла.

Раскисление шлака производится в начале обра6отки. после ввода двух навесок твердой шлакообразующей смеси мелким (фракция до 20 мм) ферросилицием в количестве от 0,70 до 1,0 кг на тонну стали и кусковым силикокальцием в количестве 0.15 кг на тонну стали. Допускается (за исключением транспортного металла) раскисление шлака алюминиевой дробью в количестве от 0,3 до 0,4 кг на тонну стали.

Затем заслонка закрывается, опускаются электроды и продолжается нагрев металла. В зависимости от жидкотекучести шлака по ходу нагрева добавляется шлакообразующая смесь с различным соотношением извести и разжижителей. Производится предварительное раскисление металла алюминиевой проволокой и через 5-7 минут отбирается первая проба металла, замеряется температура. Замер температуры по ходу доводки производится не ранее одной минуты после подъема электродов. Определяется время и скорость дальнейшего нагрева.

При проведении процесса десульфурации металла и предотвращения восстановления фосфора из шлака, в ковше должен быть наведен высокоосновный жидкоподвижный, белый шлак. Рекомендуемое содержание закиси железа (FеО) в шлаке в конце обработки не должно превышать 1% для всех марок сталей, кроме сталей с индексом «Ю».

После получения химического анализа первой пробы металла добавляются легирующие элементы в необходимом количестве и через 5-7 минут после ввода последней порции ферросплавов и легирующих, отбирается проба металла.

При присадке материалов в ковш происходит снижение температуры металла. Ориентировочное снижение температуры , 0С / кг: ферромарганца – 31 ферросилиций – 1 известь – 2,5 плавиковый шпат – 2,0 шлакообразующей смеси 15.

Усвоение базовых элементов при доводке плавки на установке «печь-ковш» принимается следующим, масс. %: - марганец 100 - кремний 80 - алюминий 60-80 - ванадий 100 - титан до 70.

После получения химического анализа второй пробы производится корректировка химического состава металла с добавлением необходимого количества раскислителей и легирующих элементов с последующей продувкой металла аргоном (азотом) не менее трех минут.

Количество присаживаемого ванадийсодержащего шлака, ферросилиция и порошкового силикокальция поддерживать в соотношении 1:(0.1-0.4):(0.1-0.3).

После получения заданной температуры и требуемого химического состава стали, в зависимости от остаточного содержания алюминия и содержания кальция в пробе металла в сталеразливочном ковше, содержания алюминия в промежуточном ковше предыдущей плавки, производится ввод в металл со скоростью от 3 до 4 метра в секунду алюминиевой проволоки и не менее чем трехминутной продувки аргоном (азотом) металла вводится со скоростью от 3 до 4 метра в секунду порошковая силикокальциевая или алюмокальциевая проволока.

При отсутствии алюминиевой проволоки на установке печь-ковш допускается (кроме транспортного металла) вводить на открытое зеркало металла кусковой алюминий в количестве, обеспечивающем требуемое содержание алюминия.

Порошковая силикокальциевая проволока вводится в металл не ранее, чем после ремонтной продувки от отдачи в ковш кускового алюминия

При отсутствии порошковой силикокальциевой проволоки допускается ввод кускового силикокальция марки СК-15 в количестве до 4 кг на тонну стали.

Продолжительность продувки металла после ввода силикокальциевой проволоки (кускового силикокальция) должна быть не менее трех минут. Продувка производится с расходом газа, обеспечивающего перемешивание металла в ковше без оголения зеркала металла.

Не разрешается производить подогрев металла в ковше после ввода порошковой силикокальциевой проволоки при окончательном раскислении.

Если МНЛЗ или вакууматор не готовы к приему металла, то указанная в приложении В температура поддерживается в ковше периодическим подогревом металла на 4 - 5 ступени трансформатора.

Порошковая и алюминиевая проволока в этом случае вводится при полной готовности МНЛЗ к работе.

Доводку металла по химическому составу, подлежащего вакуумированию, допускается производить в процессе вакуумирования.

После окончания доводки стали по температуре и химическому составу отбираются пробы металла и шлака, сталеразливочный ковш выдается из позиции обработки в позицию крана.

Передача металла на МНЛЗ без данных химического состава и без окончательного замера температуры запрещается.

При передаче металла на МНЛЗ на поверхность шлака в сталеразливочный ковш для утепления металла равномерно подается утепляющая смесь.

Расход утепляющей смеси не менее шести мешков на ковш не менее 60-100 кг на ковш.

При передачи сталеразливочного ковша на вакууматор утепляющая смесь в ковш не присаживается.

После отдачи утепляющей смеси на ковш устанавливается крышка и ковш подается на МНЛЗ.

### 3.2 Технология обработки стали на вакууматоре

При подготовке вакууматора к приему плавки необходимо проверить:

* исправность всех механизмов, приборов, футеровки камеры и патрубков:
* наличие необходимого количества ферросплавов и других материалов в загрузочных бункерах - на рабочей площадке;
* обеспеченность энергоресурсами (пар. вода. азот. сжатый воздух). Давление / пара должно быть не ниже 10 бар (1,0 МПа), давление аргона не ниже - 6 бар:
* герметичность уплотнений, готовность пробоотборников, термопар, устройств контроля окисленности стали, сигнализации:
* степень нагрева футеровки. Температура в камере должна быть не менее 1250 С, а температура футеровки - не менее 1000 С:
* разогрев новой футеровки вакуум-камеры или после ремонта нижней ее части.

Для создания необходимого вакуума при вакуумировании стали предусмотрена четырехступенчатая система, которая состоит из четырех пароэжекторных и трех водокольцевых насосов.

Конденсация рабочего пара производится в двух смешивающих конденсаторах.

За 20-30 минут до вакуумирования первой плавки в серии производится тестирование вакуумных насосов для проверки их готовности к работе и разогрев.

При температуре окружающей среды ниже минус 10 С тестирование вакуумных насосов производится не реже одного раза в час.

В конце обрабо1ки металла на установках «печь-ковш» производится предварительное вакуумирование системы, при котором включаются три водокольцевых насоса и создается остаточное давление в системе 170 200 мбар при закрытом вакуумном шибере.

Горелка выводится из вакуум-камеры. закрывается крышка штуцера горелки.

Сталевоз с металлом в позиции вакуумирования поднимается до уровня касания патрубками шлака, производится замер температуры металла, и при необходимости (определяется условиями заказа) производится замер окисленности.

На всасывающий патрубок подается транспортирующий газ - аргон (азот) в количестве 1000 литров в минуту и двойным подъемом и опусканием сталевоза патрубки ошлаковываются на высоту 600 мм. При производстве металла рельсового сортамента (рельсы низкотемпературной надежности) в качестве транспортирующего газа применяется азот.

После ошлакования патрубки устанавливаются в положение касания шлака в ковше и нажимается кнопка «Положение переустановки».

Нажатием кнопки «Погружение патрубков» сталеразливочный ковш в автоматическом режиме поднимается на высоту 450 мм. Открывается вакуумный клапан, расход транспортирующего газа на всасывающий патрубок увеличивается до 1300 литров в минуту. При достижении остаточного давления менее 80 мбар сталеразливочный ковш. дополнительно в ручном режиме, поднимается на 150 мм.

Во время вакуумирования металла для выполнения заданного графика дегазации используется следующая программа:

* Три водокольцевых насоса работают до достижения остаточного давления 210 мбар.
* Три водокольцевых насоса и пароэжекторные насосы № ЗА и № ЗБ работают до остаточного давления 80 мбар.
* Три водокольцевых насоса и пароэжекторные насосы № ЗА, № ЗБ. № 2 работают до остаточного давления 8 мбар.
* Три водокольцевых насоса и четыре пароэжекторные работают до остаточного давления менее 3 мбар.

Исходя из химического состава (анализа) металла перед вакуумированием производится его корректировка.

Загрузка необходимых легирующих материалов осуществляется заранее.

Величина коэффициентов усвоения базовых элементов во время вакуумирования составляет: для углерода 0.93 - 0,96: кремния 0,95 1.00: марганца 1.00: ванадия 0.98 - 1.00: титана 0.50 - 1.00; никеля и молибдена 1.00.

При производстве металла, требующего вакуумирования. на установке «печь-ковш» окончательное раскисление алюминием не производится.

Алюминиевая проволока вводится в ковш во время вакуумирования при достижении активности кислорода 0.0010 % - 0.0015 % (10-15 ррm), которая замеряется датчиками окисленности. При отсутствии датчиков окисленности данная активность кислорода достигается длительностью вакуумирования не менее 7 минут и остаточном давлении не более 3 мбар. Алюминиевая проволока вводится со скоростью 2 - 4 м с расходом до 0.4 кг на тонну стали.

Не ранее чем через пять минут после окончания присадки науглероживателя и ферросплавов производится отбор пробы на химический анализ.

Продолжительность вакуумирования (от открытия до закрытия вакуумного шибера) при давлении в камере не более 3 мбар определяется необходимым содержанием водорода в пробе металла, взятой из промежуточного ковша для данной марки стали:

Для получения содержания водорода не более 1.50 ррm продолжительность вакуумирования должна составлять не менее 20 минут.

Для получения содержания водорода не более 2.00 ррm продолжительность вакуумирования должна составлять не менее 15 минут.

Для получения содержания водорода не более 2.50 ррm продолжительность вакуумирования должна составлять не менее 10 минут.

Для получения содержания водорода не более 3,0 ррm продолжительность вакуумирования должна составлять не менее 8 минут.

В процессе вакуумирования через каждые пять минут производится замер температуры металла.

Снижение температуры металла в процессе вакуумирования первой плавки после ремонта или простоя вакууматора составляет до 2 *С* в минуту, а следующих плавок в серии до 1,5 "С в минуту.

После окончания вакуумирования производится разгерметизация системы, сталеразливочный ковш опускается до касания патрубком шлака и производится измерение температуры, и при необходимости (определяется условиями заказа), замеряется окисленность и содержание водорода в стали. Отбирается проба металла для определения его химического состава.

Замер содержания водорода в жидкой стали производится при помощи системы «Hydris» фирмы «Негеus Е1ес1го-Nitе». Правила работы с системой «Hydris» и порядок проведения замера водорода в стали определяется методическими указаниями МУ 102-142-51-2003 «Порядок замера содержания водорода в жидкой стали».

Периодичность замеров водорода определяется требованиями технологической документации и условиями контрактов (заказов).

По окончании вакуумирования в ковш вводится порошковая силикокальциевая проволока со скоростью 3.5 - 4.0 м с в количестве до 2.0 кг на тонну стали. При этом металл продувается аргоном, продувка должна осуществляться без оголения зеркала металла. Продолжительность продувки должна составлять не менее грех минут после окончания ввода силикокальциевой проволоки.

Температура металла в сталеразливочном ковше перед подачей его на МПЛЗ должна соответствовать указанным в приложении В для данной марки стали.

При получении температуры металла меньше, чем необходимо для разливки на МНЛЗ. сталеразливочный ковш снова подается на установку «печь-ковш» для доводки по температуре.

При опускании ковша с металлом после вакуумирования производится автоматическое включение подачи во всасывающий патрубок азота вместо аргона - ковш с металлом выводится в позицию крана. затем зеркало металла утепляется утепляющей смесью.

Продолжительность вспомогательных операций в процессе обработки металла на вакууматоре (подъем ковша, ввод легирующих и т.д.) не должна превышать 15 минут.

Ковш с металлом после вакуумирования подается на поворотный стенд МНЛЗ.

После вакуумирования осматривается состояние патрубков, и при необходимости производится их торкретирование, как внутренней, так и наружной поверхности.

Во время вакуумирования серии плавок, при перерывах в обработке, от предыдущей плавки до последующей, газовая горелка для разогрева футеровки вакуум-камеры включается в работу сразу после опускания стальковша или окончания операции торкретирования и находится в режиме разогрева до начала обработки следующей плавки.

Футеровка нижней части вакуум-камер, сушка и разогрев вакууматора производится в соответствии с требованиями ТИ 102-СТ.К-96-2003 «футеровка нижней части вакуум-камеры, сушка и разогрев вакууматора».

При перерыве в вакуумировании от одного до двенадцати часов температура футеровки камеры поддерживается газовой горелкой в автоматическом режиме на уровне 950 С 1100 С. Температура внутри камеры не менее 1200 С.

При длительных перерывах в работе вакууматора и снижении температуры её футеровки до 600 С. разогрев последней производится согласно графику предоставленному в приложении 1 .

После ремонта вакуумной камеры вакуумирование первой плавки производится в автоматическом режиме «очистка», а последующих плавок - в режиме «дегазация».

После окончания вакуумирования плавки в вакуум - камере остается часть металла и шлака, количество металла и шлака от плавки к плавке увеличивается. По мере зарастания нижней части камеры производится ее очистка с помощью газокислородной горелки:

Первая плавка (рекомендуется рядовой металл) для вакуумирования после очистки камеры и длительного перерыва в работе вакууматора готовится с учетом следующих требований.

Содержание углерода должно быть выше нижнего предела не менее чем на 0.05 "о для данной марки стали.

Содержание марганца и кремния должно быть выше нижнего предела не менее чем на 0.10 % для данной марки стали.

После вакуумирования металла (7-10 минут) производится отбор пробы на определение химического состава, при отклонении химического состава от требуемых норм. металл возвращается на установку «печь-ковш» для доводки по химическому составу, после доводки металл передается на МНЛЗ.

# Список литературы

1. Расчет раскисления и дегазации стали при вакуумировании в ковше/ Сoст.: Е.В. Протопопов Л.А Ганзер: СибГИУ. - Новокузнецк, 2000. – 28 с.
2. Расчет процессов внепечной обработки стали / Сост.: Е.В. Протопопов, Л.А. Ганзер: СибГИУ. - Новокузнецк, 2000. - 22 с.
3. Раскисление и легирование стали: Методическое указание / Сост.: Е.В. Протопопов, Г.И. Верёвкин, КМ. Шакиров: СибГИУ, 2001.-20 с.
4. Конструкции и проектирование сталеплавильного производства. В.П. Григорьев, Ю.М. Нечкин, А.В. Егоров, Л.И. Никольский. - Москва: "МИСИС", 1995.-562 с.
5. Металлургия стали: Учебник для вузов / Явойский В.И., Кряковский Ю.В., Григорьев В.П. п др.- М.: Металлургия, 1983.-584 с.
6. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали. Бигеев A.M., Бигеев В.А. Учебник для вузов, 3-е изд. переработанное и дополненное. Магнитогорск: МГТУ, 2000.-544 с.
7. «Повышение стойкости футеровки циркуляционного вакууматора», Б.Н. Хворов, А.А. Фетисов, С.В. Виноградов // «СТАЛЬ» – 2000 - №11, ст. 48-49.
8. «Разработка конструкции футеровки 385-т сталеразливочных ковшей для агрегата ковш-печь», С.П. Лобанов, В.Г. Овсянников, П.И. Бромотов, В.Н. Кунгурцев // «СТАЛЬ» - 2002 - №1, ст. 30-31.