**Тема 1. Окомкователи (грануляторы)**

Для повышения производительности агломерационных машин, улучшения качества агломерата, интенсификации металлургических процессов некоторые тонко измельченные сырые концентраты подвергают окатыванию (грануляции) с получением окатышей (гранул) размером 6-8 мм в цветной металлургии и около 25 – в черной.

Процесс окомкования осуществляют в барабанном или чашевом окомкователях.

Скорость расчета барабана барабанного гранулятора зависит от гранулометрического состава шихты, ее физико-механических свойств, внутренней конструкции барабана и других факторов. Эффективное смешивание агломерационных шихт достигается при скоростях вращения барабана, когда устанавливается водопадный режим (поднятый материал при вращении отрывается от поверхности барабана). Наибольшую скорость вращения при которой возможен водопадный режим определяют по формуле:

.

Границей между режимами является переходная скорость:

,

где  - угол осыпания сегмента шихты в барабане;  - половина центрального угла сегмента; *R* – внутренний радиус барабана.

Степень заполнения барабана  связана с углом :

.

Простой формулы скорости передвижения материала не существует, поэтому задаются рекомендуемым коэффициентом заполнения барабана и временем пребывания шихты в барабане: ; *t* = 2-4 мин.

Максимальная производительность барабанных окомкователей 500 т/ч.

Стационарный пилообразный скребок вырезает многоконусную поверхность во внутреннем гарнисаже (налипший слой материала) барабана. При этом увеличивается путь окатывания, время пребывания шихты в барабане и качество окатывания. Такими скребками оборудованы окомкователи диаметром 2,5; 5 м агломерационного цеха Усть-Каменогорского свинцово-цинкового комбината. Чашевые окомкователи имеют более высокую удельную производительность на единицу площади, но требует тщательной подготовки шихты. Особенно влияют на работу чашевых окомкователей колебания влажности шихты, поэтому необходимо предварительная автоматизированная дозировка шихты и воды. Технологическое преимущество чашевых окомкователей, по сравнению с барабанными состоит в том, что окатыши автоматически классифицируются. После выхода из чаши окатыши попадают в периферийный желоб, где на них накатывается пылевидное или измельченное топливо. Для изменения угла наклона чаши окомкователь имеет шарнирно закрепленный механизм, поворачивающий корпус вала относительно шарнира опорной стойки. Механизм выполнен в виде червячно-винтовой передачи. Имеет ручной или электрический привод. Предельное положение наклона чаши ограничивается рычагом и конечным выключателем.

|  |  |
| --- | --- |
| Высота борта чаши, мСкорость вращения чаши, об/минУгол наклона чаши, град.Диаметр чаши, м | 0,7-0,83-935-604; 5; 5,5; 7,5 |

Теория чашевого окомкователя разработана в трудах Базилевича С.В.



где  - угол наклона днища чаши к горизонту (=40-60°);  - угол естественного откоса неокомкованной шихты (=30-50°); *n*=3-10 об/мин; *D* – внутренний диаметр борта чаши (*D*=3-5,5 м); *k* – коэффициент, определяемый для каждого материала опытным путем и характеризует способность материала к окомкованию *k*=0,56·10-3.

Если  значительно больше , то шихта интенсивно налипает на днище, гарнисаж держится плохо, затруднена регулировка необходимой толщины гарнисажа, поэтому оптимальный угол  всегда несколько отличается от . При конструировании чашевого окомкователя обязательно уравновешивают чашу, сдвигая привод вращения от шарнира опорной стойки. Для плавного регулирования скорости вращения чаши используют мотор-генераторы или машинные усилители.

**Тема 2 Агломерационные машины**

Процесс спекания в агломерационных машинах, как правило протекает при температуре 900-1100°С, скорость спекания (скорость передвижения слоя горения внутри шихты) и скорость движения тележки взаимосвязаны:

*vсп* = 15-30 мм/мин;

*vп* = 0,5-2,5 м/мин.

Разряжение составляет 200-800 мм вод.ст. Давление вдуваемого воздуха 200-300 мм вод.ст.

При переходе тележки с горизонтального на криволинейный разгрузочный участок от общего массива агломерата отламывается кусок (*t*=500-800°С), который поступает в дробилку и далее на грохот. Крупный агломерат охлаждается и подается в бункера плавильного цеха. Мелкие фракции транспортируются в шихтарник. Порожние тележки катятся в опрокинутом положении в головной части машины, подхватываются зубьями звездочек и по круговой направляющей поднимается вверх на рабочую часть машины.

Каркас машины – жесткая пространственная рама прямоугольного сечения. Стойки колонны расположены в два ряда и соединены продольными и поперечными горизонтальными балками. Между колоннами закреплены вакуум-камеры или дутьевые камеры.

На верхней части каркаса уложены направляющие рельсы и шины. Рельсы передвижения порожних паллет укладывают с уклоном 3°. Головная часть каркаса должна быть жесткой и массивной, так как на ней закреплены приводной механизм, питатели и направляющие. Между средней и хвостовой частью корпуса предусмотрено подвижное соединение. Материал каркаса – Ст3.

Тележка (паллета) – наиболее изнашивающийся элемент агломерационных машин. Тележка состоит из жесткого литого корпуса, опорных роликов, бортов и колосников. Детали тележки работают в условиях одновременного воздействия агрессивного горячего газа и агломерата, подвергаясь воздействию резкого изменения температур. Наиболее рациональные материалы – хромистые стали Х28Т, Х28, Х17 – для колосников, а также применяют жаропрочный чугун. Для бортов могут использовать стали 10ХСНД, 35Л. Корпуса обычно отливают из 35Л, 40Л. Корпуса в новых конструкциях – составные (по ширине), состоят из трех частей при ширине 4 м с фланцевым креплением бортов. Составная конструкция облегчает отливку, но усложняет механическую обработку и сборку, требует применения сварки и болтов из легированной стали.

Наибольшее распространение получила типовая конструкция колосника трапециидального сечения с полукруглой рабочей поверхностью.

Зазор между уложенными в ряд колосниками обычно составляет 6-8 мм. В новых конструкциях колосники крепятся на тележках стопорами, расположенными в зоне меньшей температуры, это повышает стойкость и надежность крепления колосников. Опорные ролики тележек изготавливают из стали 25Л, 30Л, 35Л, Ст5, 40, 45. Поверхность катания подвергают термообработке. В конструкции Южно-уральского завода применены шарикоподшипники вместо конических роликовых подшипников. Использование более дешевых и менее дефицитных подшипников снижает первоначальную стоимость узла, но исключает возможность регулировки осевого зазора, снижает стойкость подшипникового узла ударной нагрузке. Герметичность между тележками и камерами достигается саморегулирующимися уплотнениями:

а) с резинотканевым шлангом и циркулирующей внутри него водой;

б) с пружинами, укладываемыми в желоб циркулирующего устройства.

Подача воды в шланге регулируется установленными вентилями. Конструкция шлангового уплотнения сравнительно проста и надежно работает при нормальном состоянии шланга, бесперебойном поступлении воды, хорошей смазки контактирующих пластин. Пластины изготавливают из высокоуглеродистых сталей со шлифованными рабочими поверхностями.

Уплотнения пружинного типа отличаются большей сложностью конструкции и изготовления. При качественных пружинах уплотнения обладают хорошей стойкостью и обеспечивают устойчивую плотность между пластинами.

В дутьевых машинах площадью 75 м2 установлено уплотнение шинного типа. Тележки скользят ползунами по направляющим шинам, уложенным вдоль горизонтальной части машины. Герметичность обеспечивается контактом поверхностей и давлением тележек, но требует очень чистой обработки поверхности ползунов и шин и непрерывной подачи смазки.

#  Вакуум-камеры

Коробки прямоугольного сечения сварены из листовой стали Ст3 толщиной 10-12 мм. Камера собрана из 3-х частей: верхней, средней и нижней. Сечение верхней части в 50-ти метровой машине составляет 2х2 м.

В нижней части расположен дроссельный клапан, управляемый с рабочей площадки. Футеровка камеры – стальные листы толщиной 4-5 мм (Ст3). Камеры разделены между собой уплотнительными плитами.

## Питатели

В машинах площадью спекания 50 м2 наиболее распространены маятниковые питатели в компоновке с барабанным. Челноковые питатели расположены вдоль оси машины и не обеспечивают равномерности питания аглоленты шихтой, поэтому их заменяют электровибрационными питателями или специальными воронками.

Недостаток маятниковых питателей частично устраняется за счет применения уравнительного ножа.

## Привод агломашины

Состоит из двигателя, редуктора, 1, 2-х пар зубчатых передач и двух звездочек. Одна звездочка жестко закреплена на валу, другая – связана с первой толстостенным стальным барабаном. Это обеспечивает одновременность захвата паллеты обеими звездочками.

Производительность агломашин

 (т/ч),

где *k* – коэффициент, учитывающий выход годного агломерата, принимается в зависимости от типа машины и вида шихтовых материалов (*k*=0,3…0,5 для Pb); *В* – ширина ленты, м; *h* – высота слоя шихты на ленте, м; *γ* – объемная масса шихты (2,2…3,0 т/м3); *v* – скорость движения ленты, м/мин.

Зависимость между скоростью ленты и скоростью спекания

 (м/мин),

где *L* – рабочая длина ленты, м; *с* – скорость спекания (20…30 мм/мин в цветной металлургии, 30…40 мм/мин – в черной).

Производительность машины зависит от химического состава, влажности шихты, скорости движения ленты и других факторов.

Производительность может быть увеличена за счет модернизации машины (увеличить ширину паллет).

## Зажигательный горн

Должен обеспечить необходимые для спекания шихты температурные условия (температура факела 1000…1100°С), интенсивность и продолжительность зажигания.

Горн-топка представляет собой прямоугольный стальной кожух футерованный шамотным кирпичом. Свод конструкции опирается вместе с кладкой на кессоны.

Горелки или форсунки расположены в своде горна.

Для ремонта и замены горн устанавливают на выкатной раме.

Расход сжатого воздуха 45-60 м3/мин. Расход газа 1,6-2,4 м3/мин. Для лучшего распыления мазута его подогревают до 60-80°С.

Техническая характеристика зажигательных горнов аглопечей

|  |  |
| --- | --- |
| Показатель | Вид топлива |
| газ | Мазут | газ | мазут |
| Площадь, м2- спекания- зажигания Объем топочного пространства, м3Число горелок (форсунок)Избыточное давление топлива перед горелками (форсунками), кг/см2Масса горна, т | 503,54,4560,0115,1 | 503,34,042,212,1 | 755,67,960,0129,4 | 754,14,4542,815,6 |

## Расчет производительности агломашины

(по данным АЗФ)

Наиболее эффективным способом повышения производительности агломашин является улучшение гранулометрического состава шихты. Для комкующихся шихт это достигается за счет уменьшения в шихте количества газов и классов частиц не участвующих в окомковании. Обеспечение свободного доступа кислорода воздуха к частицам топлива способствует к ускорению их горения и увеличению вертикальной скорости спекания. Если прочность спека при этом не снижается, то можно повысить производительность агломашины.

Скорость движения паллет определяется из условия равенства времени перемещения по всему слою формирования агломерата и времени передвижения паллеты на длину рабочей части агломашины

 (м/мин),

где *UC* – вертикальная скорость спекания – фактическая скорость перемещения по слою зоны формирования агломерата, м/мин.

Интенсивность агломерационного процесса характеризует удельная производительность

 (т/м2мин).

Окончательно производительность агломерационной машины с площадью спекания *F* может быть определена

 (т/мин)

 (т/ч)

 Использование значения вертикальной скорости спекания, полученного для одних условий процесса, в других дает значительную ошибку. Поэтому рекомендуется сразу задаться значением удельной производительности



где *WB* – масса сухой шихты, кг; *θВ* – удельный расход воздуха, кг/м3.

*Нагнетатели (эксгаустеры)*

Эксгаустер представляет собой центробежную одноколесную дутьевую машину с двухсторонним всасыванием газа при *t*=150-160°С. В установках малой производительности работают машины с односторонним всасыванием. Для них характерно неуравновешенное одностороннее осевое давление, снижающее их КПД. Агломерационные машины производительностью 3500-7500 м3/мин поставляются с синхронными электродвигателями. Более крупные имеют редукторный привод.

Характеристика эксгаустера

|  |  |
| --- | --- |
| Показатели | Тип машины |
| 3500-14-1 | 6500-11-3 | 7500-11-1 | 9000-11-4 |
| Объемная производительность, м3/минРазряжение, мм вод. ст.Частота вращения ротора, об/минКритическая частота вращения ротора, об/минМаховый момент ротора, приведенный к муфте электродвигателя, кгм2Мощность потребляемая на муфте, кВтМощность электродвигателя, кВтМасса эксгаустера, т  | 35001000150024203000780130036 | 650011501500268065501700200042,5 | 750012001500268068501980250042,5 | 900012501130187586002100250075 |

## Охладители

Предназначены для снижения температуры агломерата до 50-60°С. Существует несколько типов охладителей: прямолинейные, кольцевые, камерные, барабанные, чашевые.

Для интенсификации охлаждения внутри барабана на его стенке устанавливают спираль или шнек, вращающийся в противоположную сторону и водоохлаждающееся устройство.

Барабаны футеруют стальным листом и железобетонным покрытием толщиной 50 мм. При агрессивной среде барабаны сваривают из кислотостойкой нержавеющей стали (Х18Н9Т). На свинцовых заводах оборотный агломерат охлаждают в чашевых охладителях диаметром 6,5 м и высотой 2,5. Внутри чаши на вертикальном валу закреплены три радиальных укосины со свободно вращающимися дисками диаметром 600 мм.

## Обжиговые конвейерные машины

Предназначены для обжига (упрочнения) полученных в грануляторах сырых окатышей. По конструкции, кинематической схеме и принципу действия они аналогичны агломерационным машинам с просасыванием воздуха. Технологический процесс протекает при более высоких температурах. Вследствие этого паллеты, колосники и камеры работают в более тяжелых условиях. Для повышения долговечности паллеты изготавливаются стальными из 2-3-х частей (Х6С2М).

Обжиговые машины имеют три зоны:

* сушки концентрата
* обжига
* охлаждения.

Стационарный состоит из металлической рамы (ротора) с механизмом зажима вагона и подвижным толкателем, а также опорно-балансирных к

#  Тема 3 Доменные подъемники

Доменный подъемник предназначен для подачи материала на колошник. Подъемник должен быть высокопроизводительным, простым и надежным, комплексно-автоматизированным. Этим требованиям наиболее полно удовлетворяют скиповые подъемники (принятые как типовые), а также наклонные конвейерные подъемники для печей 5000 м3.

Наклонный мост опирается на колонну (пилон). Под мостом расположено здание подъемной лебедки. По нижнему поясу моста уложены две рельсовые колеи, по которым передвигаются скипы. Когда один скип находится внизу под погрузкой в скиповой яме, другой разгружается в приемную воронку засыпного аппарата доменной печи. Канаты скипов попеременно наматываются и сматываются с барабана подъемной лебедки, скипы уравновешивают друг друга.

Производительность скипового подъемника зависит от суточной производительности доменной печи. Общее количество скипов за сутки

.

Число коксовых скипов

,

где *qk* – расход кокса на 1 т чугуна; *Q* – производительность печи, т; *qс* – вместимость скипа.

Число скипов с рудой

.

Время подъема одного скипа

,

где *ψ* =0,6-0,65 – коэффициент времени работы скипового подъемника по отношению ко времени общего цикла работы всех механизмов загрузки; *β* =0,7 – коэффициент загруженности во времени, учитывающий неравномерный ход печи.

Полученное время подъема скипа уточняют по графику работы всей системы загрузки.

## Наклонный мост

Наклонный мост состоит из двух ферм переменной высоты. Верхняя опора делит мост на две части: пролетную и консольную. Нижний пояс фермы моста прямолинейный. На поперечные балки нижнего пояса укладываются подрельсовые балки с рельсами и контррельсами с наружной стороны для обеспечения устойчивого движения скипа и предотвращения его схода с рельсов. На верхнем участке рельс путь переходит в разгрузочные кривые. Конфигурация разгрузочных кривых должна обеспечивать плавный переход скипа в опрокинутое положение и его беспрепятственный обратный спуск после разгрузки. Наклонный мост устанавливают под углом 40-80°.

## Скип

Скип состоит из кузова, переднего и заднего скатов, упряжного устройства. Кузов скипа выполнен в виде прямоугольной коробки со скругленным днищем и косым срезом выходного отверстия. Емкость кузова составляет 2,5; 4; 5; 6; 10,5 м3. Кузов сварен из листа толщиной 10-12 мм. Внутренняя поверхность защищена от износа съемными листами из марганцовистой стали.

Упряжное устройство служит для присоединения к скипу каната лебедки. Для безопасности и уменьшения жесткости канатов к скипу присоединяется два каната одинакового диаметра. Конструкция упряжного устройства при этом обеспечивает надежное присоединение канатов, выравнивание их натяжения и регулировку длины при вытяжке.

В опрокинутом положении угол наклона днища составляет около 60°. На скип действует сила тяжести *Q*, сила натяжения каната *Р*, реакции R2, R3 от давления передних и задних скатов на разгрузочные кривые. Реакции нормально направлены к разгрузочным кривым и пресекаются в точке *О –* мгновенный центр вращения скипа. Вес скипа приложен к центру тяжести *С*. Сила *Р* направлена по канату и проходит через шарнир упряжной рамы. Точка *А* лежит на пересечении направлений этих двух сил. Скип не опрокидывается в сторону печи, если натяжение каната больше *О*. При выходе из разгрузочных кривых момент от веса скипа преодолевает момент сопротивления.

Момент от веса скипа

,

,

где *Q* – собственный вес скипа; *Н* – высота точки закрепления каната на скипе по отношению к оси барабана лебедки; *q* – вес 1 м скипового каната; *а1, а2, а3* – плечи соответствующих сил относительно мгновенного центра вращения; *k* – приведенный коэффициент сопротивления движению.

Скип беспрепятственно выходит из разгрузочных кривых, если момент от веса скипа в 2-3 раза больше, чем момент сопротивления

.

С помощью качающихся и поворотных желобов направляют поток жидкого чугуна или шлака в нужную сторону, изменяя угол наклона в вертикальной плоскости. Желоб футерован огнеупорным материалом, установлен при помощи качающейся площадки и вала в подшипниках станины. На конце вала закреплен рычаг, который шатуном соединен с коленчатым валом. Привод состоит из электродвигателя, редуктора, тормоза муфты, концевого выключателя.

## Чугуновозы

Перевозят чугун в жидком виде. Состоит из ковша, установленного на железнодорожной платформе. По вместимости и конструкции различают типовые чугуновозы вместимостью 80-140 т конической формы и вместимостью 175-200 т миксерного типа.

Машины и агрегаты для подготовки материалов к сталеплавильному переделу.

Важнейшая тенденция развития металлургического машиностроения связана с переходом на непрерывные процессы производства металла от выплавки чугуна до получения готового проката. В зависимости от технологии выплавки сталеплавильные цехи делятся на конвертерные, мартеновские, электросталеплавильные, цехи специальной металлургии и ферросплавов. Все технологическое оборудование сталеплавильных цехов сосредоточено на двух основных линиях:

1. подготовки, подачи и загрузки шихтовых материалов в сталеплавильные агрегаты;
2. выдачи и обработки готовой продукции.

## Способы переработки металлолома

Чтобы выплавить 1 т стали необходимо 1,2 т металлургического лома, стоимость которого в 10-12 раз ниже, чем выплавка 1 т чугуна. Стальной и чугунный лом подвергают копровой разделке, резке на ножницах, ломке на хладноломах, огневой резке и взрывной разделке. Остальную стружку подвергают дроблению, пакетированию, брикетированию.

 Наличие на ломе неметаллических покрытий: масел, нефти на стружке, смазочно-охладительных эмульсий отрицательно сказывается на стойкости футеровки и на качестве ведения сталеплавильных процессов.

Первичное разделение лома осуществляется при помощи огневой резки, обычно для этого используют ручные кислородные горелки. Перспективным является использование высокотемпературных воздушно-пламенных языков. Они имеют производительность в 3 раза выше.

Дальнейшее измельчение лома производится на пресс-ножницах с усилием резания 3-16 МН. Современные пресс-ножницы имеют механизированную подачу исходного сырья и уборку измельченной продукции. Производительность пресс-ножниц увеличивается при условии предварительной подпрессовки исходного металлургического лома.

Для ударного разрушения листового металлургического лома используют различные типы молотковых дробилок. После дробления сечка проходит магнитный сепаратор. Эффект ударного разрушения многократно увеличивается при глубоком охлаждении исходного сырья. При погружении в жидкий азот становится хрупким материал и легко разрушается. Литая стружка имеет насыпную массу 0,1-0,4 т/м3. В таком виде она непригодна к транспортировке и загрузке в сталеплавильные агрегаты. После размола на дробилках получается мелкокусковой продукт с насыпной массой 2-4 т/м3.

Пакетирование отходов листового металла производится на механических или гидравлических прессах с усилием обжатия 2,5-35 МН. После заполнения камеры пресса легковесным ломом и перекрытия ее прочной верхней плитой вдвигается плунжер и производится первичное уплотнение материала. После его остановки в конечном положении начинает двигаться боковой плунжер и окончательно формируется пресс-пакет.

Брикетирование стружки производится на брикетировочных прессах. Обычно перед брикетированием стружку обжигают для снижения твердости и удаления масла. Брикетирование – трудоемкий процесс, так как быстро изнашиваются брикетировочные пресс-формы.

##  Тема 4 Агрегаты для дробления стружки

Дробление осуществляется двумя способами:

1. Непосредственно на металлорежущих станках;
2. На стружкодробилках.

Стружку дробят в конусных, молотковых и валковых дробилках. Стружка проходит во фрезерных стружкодробилках 3 зоны дробления. Верхнюю зону составляют верхний ряд спиральных ножей и длинный нож конического дробителя. Среднюю зону образуют средний ряд спиральных ножей и конический дробитель с тремя ножами. Нижняя зона дробления образуется цилиндрическим дробителем с прямыми ножами и охватывающим кольцом со спиральными ножами на внутренней поверхности.

Окончательное измельчение стружки осуществляется в молотковых стружкодробилках (особенно малопластичных углеродистых и легированных сталей).

Валковая стружкодробилка состоит из корпуса, приемного бункера, трех дробящих валков предварительного дробления, валка окончательного измельчения и четырех приводов из электродвигателей с червячным редуктором. Валковых стружкодробилок, по сравнению с конусными и молотковыми отличает более спокойная работа, лучшее растаскивание стружки, которое осуществляют непосредственно дробящие валки, большая производительность, возможность подачи больших массивов стружки крану непосредственно в бункер дробилки. Недостаток – большой разброс фракционного состава.

Стружкодробильный агрегат непрерывного действия СДА-7 предназначен для дробления стружки до крупности не более 50 мм. Стружка проходит предварительную и окончательную стадии дробления. В состав агрегата входит разрывная машина, молотковоножевая стружкодробилка и ленточный конвейер.

## Миксерные отделения

Для хранения и транспортирования жидкого чугуна используют чугуновозы небольшой вместимости (140 т) или передвижные миксеры большой емкости (до 600 т). Использование передвижных миксеров дает значительный экономический эффект за счет сокращения капиталовложений в основные сооружения (отпадает необходимость постройки миксерных отделений). Внедрение такого способа перевозки жидкого чугуна улучшает организацию производства (сокращается потребность в подвижном составе, снижаются потери тепла при перевозке чугуна в открытых ковшах, уменьшается количество переливов, улучшаются условия труда рабочих литейного двора, доменного цеха).

Стационарный миксер предназначен для временного (7-9 ч) хранения жидкого чугуна. Благодаря чему создаются независимые отходы доменных печей, условия работы для конвертеров и мартенов. В миксере выравнивается химический состав и температура чугуна, частично удаляются вредные примеси. Для поддержания необходимой температуры чугуна миксеры обогревают с помощью горелок. Вместимость миксера 2500 т.

Миксер имеет

* механизм поворота;
* механизм открывания крышек заливочных отверстий и сливных носков;
* миксерный заливочный кран;
* машина для скачивания шлака из чугуновозных ковшей;
* установки для улавливания графита;
* весы для взвешивания жидкого чугуна;
* стенды для шлаковых ковшей;
* тельфер для проведения ремонтных работ.

Система улавливания графита снабжена зондами, которые расположены над заливочными отверстиями и сливными носками. Чугун доставляют в миксерное отделение составами чугуновозов. Поочередной слив чугуна производят миксерным краном грузоподъемностью 180/50 т. Заполненный шлаком ковш переставляют в долифет шлаковоза и транспортируют за пределы отделения.

*Конструкция стационарных миксеров*

Форма миксера определяется условиями минимальной теплоотдачи и рационального конструктивного размещения заливочного и выпускного отверстий.

Различают три формы миксеров

* цилиндрические короткие, L/D=1-1,3;
* цилиндрические длинные, L/D>1,3;
* бочкообразные.

Наиболее распространены цилиндрические короткие с выпуклыми днищами. Они обладают такими преимуществами: уменьшаются тепловые потери, улучшаются условия перемешивания чугуна, повышается срок службы футеровки.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Показатель | 600 | 1300 | 2500 |
| ВместимостьНаружный диаметр кожухаДлина по подторцовым днищамУгол поворота миксера при полном сливе чугунаЭксплуатационный уголГлубина ванныМощность привода, кВт* наклона
* открывания крышки заливочного окна
* открывания заслонки сливного окна

Масса без футеровки | 60063008270472535003352,2189 | 1300764010700453044905052,2330 | 2500940014072483052509052,2951 |

Днища выполнены съемными, соединены с фланцами цилиндрической частью болтами. Внутри миксер выложен огнеупорной футеровкой, между кожухом и футеровкой теплоизоляционный материал. Для проверки состояния футеровки в верхней части днищ предусматривается особые смотровые окна.

При аварии механизма поворота или прекращении подачи электроэнергии повернутый миксер сам возвращается в исходное положение, так как центр тяжести расположен на 140 мм ниже оси вращения и 140 мм ближе к носку.

Опорно-поворотная часть миксера состоит из опорных бандажей (4 секции), соединенных друг с другом и корпусом миксера болтами. Цилиндрическая часть миксера опоясана по краям двумя бандажами, которые опираются на ролики, заключенные в двух обоймах. Роликовые обоймы упираются на две дугообразные направляющие опоры, закрепленные на железобетонном фундаменте.

Механизм поворота двухреечного типа. На опорных металлических конструкциях смонтированы буферные устройства, ограничивающие обратный ход корпуса, стопорное устройство для фиксации корпуса при ремонтах и смене футеровки. Имеются защитные кожухи для защиты роликовых обойм от брызг жидкого металла. Для ограничения поворота применяют пружинный и гидравлический демпферы.

В качестве механизма поворота миксера наиболее широко используют реечный механизм с электроприводом. В механизме два узла: приводной и реечный. Они соединены промежуточным валом с зубчатыми муфтами. Приводной узел состоит из двух реверсивных электродвигателей, двухступенчатого редуктора и двух тормозов. Реечный узел включает в себя цилиндрический одноступенчатый редуктор. Две приводные шестерни смонтированы в качающихся обоймах. Рейки верхними концами шарнирно соединены с проушинами на кожухе миксера. Поворотный механизм установлен на массивной раме, расположенной под миксером. Электродвигатели и редуктор расположены в стороне в безопасном месте для удобства обслуживания и ремонта.

Привод механизма поворота имеет командо-аппараты, ограничивающие предельные углы наклона. Смазка механизма поворота и опорно-ходовой части миксера централизована.

Передаточное число миксера

,

где *u1* – передаточное число зубчатых передач; *h* – плечо рейки; *r1* – начальный радиус приводной шестерни.

Привод механизма поворота развивает крутящий момент, равный сумме моментов от веса жидкого металла, веса порожнего миксера, веса подвижных роликовых обойм, от сил трения в роликовых опорах и динамических моментов в период неустановившегося движения привода.

##  Тема 5 Оборудование кислородно-конверторных цехов

В кислородных конверторах выплавляют высокоуглеродистые и легированные стали, не уступающие по качеству мартеновской стали. Увеличение производства стали происходит за счет строительства новых кислородно-конверторных и электросталеплавильных цехов, при полном прекращении строительства мартеновских печей. Это обусловлено следующими преимуществами кислородно-конверторного способа:

* более высокая производительность на единицу продукции;
* меньшие капитальные затраты;
* лучшие условия для механизации и автоматизации производственных процессов;
* возможность совмещения выплавки с непрерывной разливкой.

Развитие конверторного способа идет по пути увеличения единицы вместимости конвертора с одновременным повышением интенсификации работы и расширением сортамента производимой стали (200, 300, 400 т). Повышение вместимости конвертора в значительной степени зависит от создания высокопроизводительных МНЛЗ.

Существует несколько способов подачи кислорода.

##  Грузопотоки кислородно-конверторного цеха

В цехе действуют следующие основные линии:

1. Подача и загрузка лома в конвертор;
2. Доставка и заливка жидкого чугуна;
3. Подачи, дозирования и загрузки сыпучих шлакообразующих материалов;
4. Подачи кислорода;
5. Доставки, дозирования, нагрева и подачи ферросплавов в сталеразливочные ковши;
6. Приема, транспортирования и разливки стали;
7. Уборки и переработки шлака.

Система весового дозирования и подачи состоит из весовых дозаторов, конвейеров, промежуточных бункеров и течек. Система обеспечивает загрузку определенных порций шлакообразующих в конвертор в процессе плавки. Подачу техники чистого кислорода производят специальной машиной через кислородную фурму, снабжением по магистрали из кислородного цеха.

Ферросплавы из приемных бункеров выдают на ленточные конвейеры, тракта подачи сыпучих материалов и заполняют расходные бункеры. Взвешенные порции ферросплавов нагревают в камерных печах и по течке подают в сталеразливочный ковш на сталевозе.

В обоих случаях разливки сталь сливают из конвертора в разливочный ковш, установленный на сталевозе. По первому способу (в изложницы) ковш передают сталевозом в разливочное отделение. Изложницы заполняют жидким металлом из ковша, перемещаемого разливочным краном над составом с изложницами. После затвердевания и полной кристаллизации слитков составы с изложницами подают локомотивом в стрипперное отделение. Стрипперное отделение для снятия прибыльных надставок и подрыва слитков с уширением сверху. После этого состав подают в нагревательное отделение обжимного стана, в котором слитки устанавливают в нагревательные колодцы, а состав с изложницами направляют на душирующую установку. Изложницы совершают замкнутый цикл работы.

По второму способу ковш подают сталевозом в отделение непрерывного литья. Заготовки после МНЛЗ поступают в прокатный цех. Шлак из конвертора сливают в ковш самоходного шлаковоза и направляют в шлаковое отделение для охлаждения и последующего дробления. Переработанный шлак отгружают в отвал.

##  Тема 6 Конструкция кислородных конверторов и механизмов поворота

##

Конверторы большой вместимости отличаются большими габаритами корпуса: высота до 12 м, диаметр до 8 м, масса достигает 2500 т. Тяжелыми условиями работы механизма поворота и опорных узлов являются большие статические и динамические нагрузки, высокая и неравномерная температура нагрева корпуса и опорного кольца, большие силовые и температурные напряжения в элементах металлоконструкции и привода.

Современные конверторы состоят из цилиндрической средней части, сферического днища и концентричной горловины в виде усеченного конуса. Отношение внутреннего объема к массе металла (удельный объем) находится в пределе 0,7-1,1 м3/т; отношение высоты конвертора к диаметру 1,8-1,2; глубина ванны металла составляет 1,6-1,9 м; удельная площадь поверхности ванны (отношение площади поверхности к вместимости конвертора) 0,12-0,18 м2/т.

При заливке чугуна, загрузки лома, взятии проб металла, сливе стали и шлака, при ремонте футеровки конвертор поворачивают. Для улучшения работы подшипников и равномерного распределения смазки конвертор периодически поворачивают насколько раз.

Конверторы снабжены механизмами поворота с электроприводами. Для повышения надежности приводы делают многодвигательными. Применяют приводы конверторов трех типов: стационарные, полунавесные и навесные. В зависимости от того, одна или две цапфы приводные различают односторонние и двусторонние приводы.

Корпус конвертора глуходонный сварной. На горловине закреплен водоохлаждаемый сменный шлем.

Крепление корпуса в опорном кольце осуществляется 16-тью кронштейнами, приваренными к корпусу сверху и снизу опорного кольца. Нижние кронштейны выполнены с наклонными плоскостями и находятся в контакте с угловыми башмаками, приваренными к опорному кольцу. Правильный выбор угла наклона контактных поверхностей нижних опорных узлов должен обеспечить надежность крепления и независимость деформации опорного кольца и корпуса конвертора при их нагревании.

Опорное кольцо – составное. Цапфовые плиты прикреплены к полукольцам шпильками. Правая и левая опоры конвертора установлены на сварных станинах. В опорах использованы сферические и конические роликовые подшипники (одна опора жестко фиксирована, другая – плавающая). Приводы механизма поворота установлены на отдельных рамах и соединены с цапфами опорного кольца универсальными шпинделями, выполняющие роль компенсирующих соединительных муфт.

Каждый привод снабжен двумя электродвигателями постоянного тока, двумя тормозами, двумя быстроходными двухступенчатыми редукторами, тихоходным двухступенчатым редуктором с двумя валами и универсальным шпинделем. Это обеспечивает нормальную работу подшипников при перекосе цапфы и деформациях металлоконструкции.

Тахогенератор, включенный в схему управления электроприводом, поддерживает требуемую частоту вращения конвертора, в заданных положениях конвертор останавливается командо-аппаратом.

Технические характеристики конверторов со стационарными приводами

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вместимость, тВнутренний объем, м3Удельный объем, м3/тВнутренний диаметр, ммВнутренняя высота, ммМасса без футеровки, тМасса футеровки, тМасса днища, тГабариты, мм:* длина
* ширина

Частота вращения, об/мин:* номинальная
* минимальная

Схема приводаЭлектродвигатель:* мощность, кВт
* частота вращения, об/мин

Передаточное число:* быстроходного редуктора
* тихоходного редуктора
* общее
 | 1301080,834820766058530346718920817010,1одностороннее2x13547026,919,75531,275 | 2502500,82660088251292--280001090010,1двухстороннее2x2x13547026,917,5470,75 |

Полунавесные многодвигательные приводы позволяют уменьшить размеры тихоходной передачи за счет уменьшения модуля зацепления, позволяют увеличить число электродвигателей без особого усложнения конструкции, т.е. повысить надежность механизма поворота. Главный недостаток полунавесных приводов – значительная длина валов и большое количество соединений.

Применение в механизмах поворота приводов навесного типа резко уменьшило динамическую напряженность раскачивания корпуса, повысило эксплуатационную надежность, значительно уменьшило массу и габариты механизма. Навесными приводами оборудованы конверторы вместимостью 50, 100, 160, 300, 350, 400 т.

Корпус конвертора сварен из нескольких обечаек, полученных гибкой и штамповкой из листа. К горловине конвертора болтами крепят массивный литой шлем. Отсутствие выступающих частей на шлеме и обечайки облегчает удаление настылей. Опыты эксплуатации водоохлаждаемых шлемов не показал их преимуществ перед цельнолитыми. В сферическую обечайку вварено литое кольцо, служащее для крепления стального днища клиньями.

Опорные кольца бывают цельносварные и составные. Цельносварные представляют собой статически неопределимую систему, в которой возникают значительные напряжения от неравномерного распределения усилия и нагрева кольца. В составном кольце цапфовые плиты соединены со сварными цапфами цилиндрическими шарнирами, образуя статически определимую систему. При этом в элементах кольца резко снижаются механические и температурные напряжения. Цапфу запрессовывают в цапфовую плиту предварительно охлаждая в азоте или нагревая плиту.

Система крепления 300, 350-тонного конвертора состоит из трех подвесок, расположенных под углом 120° друг к другу и двух упоров, установленных под цапфами. Тяги подвесок соединены с корпусом и опорным кольцом сферическими шарнирами. Фиксированная подвеска снабжена дополнительным цилиндрическим шарниром, ликвидирующим степени свободы корпуса в плоскости, проходящей через ось цапф. Этим исключается раскачивание корпуса при продувке металла кислородом. Упоры воспринимают усилие при наклоне конвертора и одновременно предупреждают раскачивание корпуса под воздействием колебаний жидкого металла. В вертикальном положении конвертора нагрузка от силы тяжести корпуса с футеровкой передаются опорному кольцу только тремя подвесками.

Применение навесных быстроходных редукторов позволяет ускорить их замену и создает условия для поузлового централизованного ремонта. Перекос цапф не влияет на работоспособность привода. Значительно меньше общие габариты и масса по сравнению со стационарным приводом той же мощности. Не требует специального массивного фундамента.

Опора состоит из литого основания, корпуса подшипников, крышки, двух конических роликоподшипника, двух опорных колонн со сферическими пятами и фиксатора. Конические подшипники посажены на промежуточную втулку, напрессованную на цапфу и зафиксированную в осевом направлении концевой гайкой. Торцевые крышки подшипникового узла снабжены лабиринтными и сальниковыми уплотнениями.

Закладные стержни с молотковыми головками ограничивают наклон корпуса при поломке и заклинивании роликовых подшипников. Фиксированная и плавающая опоры отличаются конструкцией фиксатора.

## Кислородные конверторы с донным дутьем

Используют для замены мартеновского и других устаревших способов производства стали. Для защиты от быстрого износа днища в реакционной зоне используют углеводород, содержащий газ или жидкое топливо, подаваемое по кольцевому каналу фурмы. Вместе с кислородом по центральной трубе фурмы подают порошковую известь.

## Приводы механизмов поворота конвертора

Основное требование к сосудам с жидким металлом – обеспечение их устойчивости при любых углах наклона, т.е. возврат в исходное положение. Для этого необходимо, чтобы опрокидывающий момент при повороте конвертора на любой угол был положительным и по возможности небольшим, чтобы мощность двигателя была минимальной. Привод работает в повторно кратковременном режиме (ПВ 15-20 %). В течение одного цикла плавки (30-35 мин.) конвертор поворачивают в обе стороны от вертикального положения около 20 раз (для загрузки, взятия проб металла, контроля температуры, слива стали и шлака) на угол 15-18°, при длительности работы привода 3-60 с. При сливе металла и шлака поворот конвертора осуществляется с малой скоростью, но высокой точностью регулирования (не менее 2 %). Величина ускорения и замедления не более 0,3 об/мин·с. Продолжительность спуска 3-4 секунды с плавным торможением. Если во время выпуска стали произошло нарушение технологического процесса, электропривод должен обеспечить подъем конвертора с максимальной скоростью. Масса футеровки 55 % от массы порожнего конвертора. При износе футеровки смещается центр тяжести системы и увеличивается крутящий момент, так как обрушается кладка, скапливающаяся в нижней части корпуса конвертора. Увеличение крутящего момента требуется учитывать при расчете механизма поворота. В период неустановившегося движения возникают также динамические моменты, которые необходимо учитывать при построении нагрузочной диаграммы.

**Машины для подачи кислорода в конвертор**

Машина для подачи кислорода обеспечивает подачу (вертикальное и горизонтальное перемещение) фурм внутрь конвертора. Различают машины верхнего и нижнего расположения. Машины верхнего расположения могут быть стационарными, передвижными и поворотными. Машины нижнего расположения выполняют только стационарными, с консольно-поворотными или качающимися механизмами. В современных цехах применяют машины верхнего расположения. Они размещены на специальных площадках над конверторами. Машины нижнего расположения устанавливают на рабочей площадке возле конверторов малой производительности.

 В зависимости от тягового органа фурмовой каретки различают машины канатного и цепного типа.

Современные машины для подачи кислорода в крупные конверторы снабжены двумя фурмами (рабочий и резервный) и двумя механизмами перемещения.

Для передвижения машин используют механизмы следующих типов: реечные, винтовые и гидравлические. Наиболее широко применяются реечные механизмы с электроприводом, как наиболее надежные. Механизмы вертикального перемещения кислородных фурм иногда выполняют с противовесами, которые частично уравновешивают массу каретки с фурмой. Фурма служит для подачи технически чистого кислорода, создание и рассредоточение его струй в ванне конвертора. Интенсивность подачи кислорода составляет 4,5-6 м3/т·мин. Фурмы конвертора делают многосопловыми (6-7 сопел диаметром 65-95 мм). Оси сопел располагают под углом 15-20° к оси фурмы. Конусность расширяющейся части сопла 8-10°. Головку и тело сопла охлаждают проточной водой с температурой не более 40°С. Скорость движения воды – 6 м/с и выше, что предотвращает закипание воды и образование накипи. В зависимости от способа подвода кислорода и воды различают фурмы с центральным подводом воды для охлаждения и центральным подводом кислорода.

Тело фурмы изготовлено из трех концентрично расположенных труб, снабженных патрубками для присоединения металлических рукавов. Вода подается по внутреннему кольцевому каналу. После охлаждения головки вода меняет направление и идет на слив по внешнему кольцевому каналу. Головки фурм могут быть сварными, коваными и литыми. Сварные обеспечивают более полный отвод тепла. Дешевле, для их изготовления требуется меньше меди. Недостатки сварных фурм – сложность и трудоемкость изготовления, нарушение плотности сварных швов из-за изменения структуры металла при сварке.

**Машины для замера температуры и взятия проб металла в конверторе**

Замер температуры, определение содержания углерода и взятие пробы осуществляется термоблоком, погруженным в ванну на 5-10 с.

**Тема 7 Оборудование электросталеплавильных цехов**

Выплавка стали в дуговых электропечах основана на том, что электроэнергия превращается в тепловую, вследствие электрического разряда, протекающего в газовой среде или вакууме. В электрическом разряде сосредоточена высокая концентрация энергии и огромной мощности ток в небольших объемах металла. В результате получаются высокие температуры и быстрое расплавление металла. По способу теплового воздействия электрической дуги на металл различают печи с независимой, закрытой и зависимой дугой.

Печи с независимой дугой – это дуговые печи косвенного действия, в которых электрическая дуга горит между электродами, а по нагреваемому металлу (шихте) ток не протекает. Нагрев и расплавление металла осуществляется косвенно – излучением. В таких печах можно плавить металл и сплавы с низкой температурой плавления, в том числе цветные. Эти печи имеют небольшую мощность (500 кВА), обычно однофазные, рекомендуются для плавки сплавов с температурой плавления до 1400°С.

Печи с закрытой дугой – это дуговые печи сопротивления, в которых дуга горит в газовой полости внутри расплавляемой шихты, подключенной последовательно или параллельно с дугой. Вследствие большого электрического сопротивления шихты, выделяемое в ней джоулевое тепло образует внутри шихты очаг высокой температуры. Эти печи позволяют расплавить металл с высокой температурой плавления, поэтому их применяют для получения ферросплавов и восстановительных рудных металлов. К печам такого типа относятся также установки ЭШП (электрошлакового переплава).

Печи с зависимой дугой – это печи прямого действия, в которых шихта, как часть электрической цепи, обтекается полным током. Разряд зависит от свойств расплавляемого металла. Дуга горит между электродами и шихтой расплавляемого металла. В электропечах с зависимой дугой можно применить длинные графитовые электроды большого сечения, допускающие значительную силу тока, что обеспечивает большую мощность и производительность. К таким печам относятся также вакуумные дуговые печи, в которых можно получить еще большую мощность и расплавлять тугоплавкие металлы.

Дуговые электропечи различают в зависимости от схемы относительного смещения корпуса и свода:

1. с выкатывающимся корпусом, в этом случае портал с поднятым сводом и электродами остаются на месте;
2. с выкатывающимся порталом;
3. с поворачивающимся сводом.

Большегрузные печи выполняют с верхней загрузкой с выкатывающимся корпусом (ДСВ) и с поворачивающимся сводом (ДСП). Печи с поворачивающимся сводом сейчас наиболее распространены, так как опорно-поворотная часть с полупорталом и механизмом поворота компактны, относительно просты конструктивно, не создают затруднений при загрузке печи. Печи серии ДСП изготавливают вместимостью 12, 25, 50, 100, 200 т. До 50 т изготовлены с гидроприводами основных механизмов, ДСП 100 и 200 с электроприводами всех механизмов. Печи наклоняют в сторону сливного желоба на 40-45° для слива металла в ковш и на 10-15° в сторону рабочего окна – для скачивания шлака. Механизмы наклона печей могут быть секторные, роликовые и цапфовые.

Печи с секторным механизмом наклона опираются на две или четыре гладких или зубчатых сектора, перекатывающихся по плоским опорам. Печь с роликовым механизмом наклона опирается на систему роликов, закрепленных в сепараторе. Печь с цапфовым механизмом наклона опирается на две цапфы, расположенные у сливного носка.

По месту расположения привода механизмы наклона могут быть боковые и нижние. Механизмы бокового типа монтируются на стационарной стойке сбоку печи. Такое расположение удобно для эксплуатации, однако, одностороннее приложение опрокидывающего момента вызывает в кожухе большие напряжения и деформации, поэтому на печах большой и средней вместимости применяют механизм наклона нижнего типа. Эти приводы монтируют на фундаменте под печью со стороны рабочего окна. Они обеспечивают устойчивость печи, но защита от шлака и металла в случае прогара днища менее надежна.

**Грузопотоки электросталеплавильных цехов**

Различают линии доставки и загрузки лома, подачи и загрузки сыпучих шлакообразующих, ферросплавов, линии уборки шлака, разливки и уборки стали. Лом железнодорожным транспортом подают в шихтовой пролет главного корпуса и разгружают в ямные бункера, откуда магнитным краном загружают бадьи и после взвешивания подают в печной пролет. Шлакообразующие материалы после сушки в барабанном сушиле поступают в переносные бункера. Из бункера материал загружают в мульду и крановой завалочной машиной (мульдозавалочным краном) подают в печь.

*Конструкция электропечей и их механизмов*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Модель | ДСП – 100 | ДСП – 200 |
| Внутренний диаметр кожуха, ммДиаметр электрода, ммХод электрода, ммМощность трансформатора, МВ·АМаксимальная сила тока, кАМасса металлоконструкции, т  | 675055036002534,5440 | 8400610450012587870 |
| Продолжительность плавкиСкорость перемещения электродов, мм/сУгол наклона печи на слив, град:* металла
* шлака

Время наклона печи на слив металла, минПродолжительность поворота свода, сУгол поворота свода, град.Высота подъема свода, мПродолжительность подъема свода, сЧастота вращения корпуса | 30800,57 | 48340102-860600,4830 |

Механизмы поворота корпуса, подачи электродов, подъема свода сблокированы так, что поворот возможен только при верхнем положении электродов и поднятом своде.

Техническая характеристика ДСП-100

|  |  |
| --- | --- |
| Электродвигатель 7,5 кВтПередаточное отношение редуктораОбщее передаточное число приводаМасса поворотной части  | 700 об/мин293,61304217 т |

Для предотвращения самопроизвольного поворота полупортала и разгрузки зубчатых передач механизма поворота свода полупортал фиксируется стопором, в то время когда свод находится над корпусом печи.

Свод поднимают в двух случаях:

* при загрузке печи;
* в период расплавления перед поворотом корпуса для вывода сводового кольца и затвора.

Подвеска свода выполнена из тяг и пластинчатых цепей, огибающих гладкие направляющие ролики на полупортале. Цепи с каждой стороны полупортала крепятся к тягам с регулирующими гайками, идущими к двум червячно-винтовым редукторам. Тяги получают перемещение от поступательно движущихся винтов, гайки которых вмонтированы в ступицы червячных колес. Для синхронной работы привода и воизбежание перекоса свода оба механизма соединены уравновешивающим валом.

В дуговой трехфазной электропечи установлены три независимых механизма перемещения для каждого электрода. Эти механизмы относятся к постоянно действующим, так как для поддержания заданной мощности дуги необходимо быстро изменять расстояние между электродом и шихтой. Кроме малых перемещений при регулировании дуги механизм позволяет производить быстрый подъем и опускание электродов. В печи ДСП-100 используется канатный механизм (электрод опускается под действием собственного веса). Канатная система позволяет избежать нагрузок на электрод, в случае упора его в шихту при работающем электроприводе. По квадратной колонне перемещается каретка, с четырех сторон которой закреплены ходовые ролики. К каретке приварен кронштейн, несущий электрододержатель, токоподводящие трубы и механизм зажима электрода. Масса каретки, кронштейна и электрода частично уравновешена противовесом, находящимся внутри колонны. Противовес связан с кареткой пластинчатой цепью, огибающей гладкие направляющие ролики. Каретка вместе с электродом поднимается канатной лебедкой. Канат, идущий от барабана лебедки огибает направляющие блоки и подвижный блок на кронштейне каретки и крепится к шкивной площадке.

Электрод прижимается к торцевому башмаку на электрододержателе подвижным хомутом. Усилие зажима создается пружиной. Опускание электрода вниз по отношению к каретке называется перепуском электрода. При замене электрод освобождается пневмоцилиндром, воздействующим на пружину. По принципу зажима электрода различают пружинно-пневматические, пружинно-гидравлические, электромеханические, пневмо-эксцентриковые, пневмогрузовые электрододержатели.

Механизмы перемещения электродов должны удовлетворять следующим требованиям: обеспечивать работу электрода без поломок при упоре в шихту на ручном управлении, гарантировать невозможность самопроизвольного опускания под действием собственного веса, обеспечивать минимальное и стабильное трение во всех элементах системы, обеспечивать жесткую связь двигателя с электродом, исключающую влияние податливости звеньев на качество процесса регулирования, иметь минимальные зазоры в кинематической цепи, иметь минимальное различие в статических моментах нагрузки при подъеме и опускании электродов, что позволяет снизить мощность регулирующего привода и существенно улучшить динамические свойства системы регулирования, обладать быстрым разгоном и торможением, иметь максимальную скорость подъема электрода при автоматическом и ручном управлении.

Ускоренный подъем электродов необходим для быстрой ликвидации толчков тока в период расплавления, что облегчает работу электрической аппаратуры и снижает непроизводительные потери электрической мощности.

Быстродействие механизма подъема зависит от скорости установившегося движения и от времени разбега. Время разбега определяется инерционностью системы, скоростью переходных электромагнитных процессов в регуляторе.

Механизм перемещения электродов обычно состоит из электродвигателя, червячного или червячно-цилиндрического редуктора, канатной, реечной или винтовой передачи, а также конструкции несущих электродов. Применяют шунтовые электродвигатели постоянного тока, снабженные последовательной обмоткой для получения линейных характеристик. По эксплуатационным, регулировочным и динамическим показателям реечный механизм значительно превосходит канатный. Гидравлические регуляторы имеют следующие достоинства: небольшие габариты и масса, высокое быстродействие вследствие малой инерции системы, плавность регулирования, устойчивость, простота и надежность, предохранение от перегрузок и поломок.

**Тема 8 Машины и агрегаты мартеновских цехов**

В современный мартеновский цех входят главный корпус с печами, шихтовые отделения, миксерные отделения, отделения раздевания слитков, парк охлаждения изложниц, отделение очистки и смазки изложниц, отделение подготовки ферросплавов, участок огнеупорных порошков.

В мартеновскую печь загружают жидкий чугун, металлолом, флюсы, руду и легированные добавки. Жидкий чугун поступает из доменного цеха в миксерное отделение. Для бесперебойной подачи устанавливают два миксера. Холодную шихту хранят в шихтовых отделениях, расположенных в отдельных зданиях, оборудованных грейферным и магнитным кранами. Из шихтовых отделений шихту подают к мартеновским печам в мульдовых тележках. Емкость мульды – 3,3 м3. По всему пути следствия тележки взвешивают. При вместимости мульд до 2 м3 мартеновские цехи оборудуют завалочными машинами грузоподъемностью 10 т. Характеристикой грузовых потоков мартеновких цехов является их большая концентрация на сравнительно низкой площади. Основные грузопотоки: подачи шихты, жидкого чугуна и изложниц, выдача стали и шлака. Вспомогательные грузопотоки: подача огнеупорных и ремонтных материалов, выдача отходов.

*Машины печного пролета*

В печном пролете устанавливается оборудование для подачи жидкого чугуна и холодной шихты в печи, оборудованные для заправки печей и вспомогательное оборудование. Заливка жидкого чугуна осуществляется заливочными кранами, кроме того они переносят бункер с заправочными материалами, контейнеры с раскислителями, устанавливают заливочные желоба и используются при ремонте. Грузоподъемность заливочных кранов определяется емкостью чугуновозных ковшей и составляет 125/30, 180/50 т. Основным способом загрузки холодных материалов в мартеновские печи является мульдовая загрузка, осуществляемая завалочными машинами напольного типа. Мульды с шихтой, установленные на тележках перед печами захватывают по одной хоботом завалочной машины и загружают в печь.

После реконструкции мартеновские печи переделывают на двухванные сталеплавильные агрегаты. В своде каждой ванны имеется кислородные фурмы для продувки металла. Лом нагревается теплом отходящих газов, а иногда дополнительно подогревается подвижными газокислородными горелками. Преимуществом таких агрегатов является большая производительность, меньший объем ремонтных работ, отсутствие регенеративных насадок, меньший расход топлива и огнеупоров.

*Конструкция мартеновских печей*

Печь представляет собой сложное сооружение, включающее рабочее пространство с головками, шлаковики, регенераторы, борова с перекидными устройствами и дымовая труба. Печь оборудована механизмами для перекидки клапанов, движения заслонок рабочих окон и др., а также комплектом контрольно-измерительной аппаратуры для управления тепловым режимом печи. Мартеновские печи располагаются линейно вдоль цеха между главными колоннами зданий, разделяющими печной и разливочный пролеты. В разливочный пролет входит задняя стенка рабочего пространства со шлаковыми летками и сталевыпускным желобом, а также торцы шлаковиков. Все технологические операции по выплавке стали выполняются с рабочей площадки, находящейся на высоте 7-9 метров над уровнем пола. Пороги рабочих окон располагаются на 0,7-0,9 метров выше рабочей площадки, что облегчает уход за подиной и ведением плавки. Размеры и и конфигурация регенераторов и боровов определяется требованиями тепловой работы и аэродинамики, а также расположением фундаментов колонн здания и рабочей площадки. Нижняя часть регенераторов и лещади боровов должны быть выше уровня грунтовых вод.

*Футеровка подины*

Подина имеет огнеупорную кладку и верхний слой наварки. Теплоизоляция подины должна быть умеренной во избежание перегрева наварки. Подина имеет многослойную укладку из шамотного и магнезитового кирпича. Магнезитовая часть насыпи проводится насухо на магнезитовом порошке. В каждом слое кладки оставляют расходное число температурных швов, заполненных картоном, рубероидом. При высокотемпературном нагреве эти прокладки выгорают, а расширившийся кирпич заполняет зазоры. Это предотвращает вспучивание кладки или разрушение металлоконструкции. Один-два слоя магнезитового кирпича укладывают на торец, под ним два-три слоя на ребро. Это обеспечивает повышенное сцепление между кирпичами подины, а также предотвращает возможность их всплывания при аварийном разрушении наварки и проникновении металла к огнеупорной кладке.

*Свод рабочего пространства печи*

Стойкость свода определяет продолжительность кампании. Раньше для выкладки свода применяли только динасовый кирпич. Недостатком его является сравнительно низкая температура плавления (~1710°С), поэтому температура внутренней поверхности свода должна быть не более 1680°С. Современные печи имеют своды из основного магнезитохромитового кирпича. Его огнеупорность свыше 2000°С. Это позволяет повысить температуру внутренней поверхности свода до 1780°С. Это увеличивает производительность печи, кроме того, основные огнеупоры менее чувствительны к действию плавильной пыли. Для повышения стойкости свода необходимо увеличивать центральный угол α до 80-100°С, подвешивать кирпичи не реже, чем через 8 рядов, вывешивать свод перед снятием опалубки, избегать перегрева и резких колебаний температуры свода, периодически удалять пыль с поверхности обдувкой паром или сжатым воздухом, торкретирование наиболее изнашивающихся участков.

*Обжиговые агрегаты*

В цветной металлургии обжигу подвергают свинцовые, цинковые, никелевые, медные концентраты, рудное сырье глиноземного производства. По способу перемешивания обжигаемых материалов различают механизированные многоподовые печи и печи обжига в кипящем слое (КС). Многоподовые печи являются устаревшей конструкцией. Они практически полностью вытеснены печами КС.

*Печи с кипящим слоем*

Процесс обжига концентрата в кипящем слое заключается в том, что предварительно нагретый (около 700°С) до 800 мм слой материала непрерывно и равномерно продувается по всей площади сжатым воздухом или его смесью с кислородом. При определенной для данного материала критической скорости вдуваемого воздуха материал становится легкоподвижным, подобно вязкой жидкости он совершает непрерывное движение, похожее на кипение. Частицы материала при этом перемешиваются соединяясь с кислородом воздуха и свободно перемещаются в сторону разгрузочного отверстия. Печи строят с круглым или прямоугольным поперечным сечением. Большая высота и объем рабочего пространства позволяют повысить эффективность процесса, так как поднятые частицы концентрата обжигаются во взвешенном состоянии, при этом уменьшается вынос пыли с отходящими газами.

*Основные части печи*

Корпус, подина с соплами, свод, воздушная и загрузочная камера. Корпус обычно сваривают из Ст3 толщиной 10-16 мм и усиливают ребрами жесткости. Футеровку выполняют из шамотного кирпича. Толщина футеровки снизу 500 мм, в остальных – 380 мм. Между кирпичами и корпусом укладывают асбест. Сверху на кирпичи укладывают два слоя листового асбеста на жидком стекле или слой огнеупорного бетона, затем защищают стальным листом. Наружная теплоизоляция корпуса устраивается 60-75 мм с обшивкой алюминиевыми листами. Материал загружают через крутонаклонный жаростойкий патрубок, разгружают огарок через сливной порог. Высота порога в медном и цинковом производстве 1000-1200 мм. Подина с соплами во многом определяет аэродинамику кипящего слоя, качество огарка, производительность и длительность кампании печи. От конструкции и состояния сопел зависит эффективность использования сжатого воздуха, равномерность подачи дутья в слой, степень выноса пыли в газоход, образование слоя застойных мест. На цинковых заводах применяют сопла с вертикальными отверстиями. В сопле 10 отверстий.

На никелевых заводах сопла полностью выполняют из стали Х18Н10Т. Стойкость жаростойкого сопла в три-четыре раза выше, чем чугунных. Кроме сопел с вертикальными отверстиями применяются также конструкции с горизонтальными и наклонными отверстиями – их называют сопла направленного дутья. Отверстия направляют в сторону разгрузки огарка под углом 15° к горизонту. Площадь живого сечения сопел, их число, давление и скорость вдуваемого воздуха для различных процессов обжига приведены в таблице:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Показатели | Цинковой печи | Никелевой, кобальтовой и медной печей |
| Общая площадь сечения сопел (% отверстий, в зависимости от площади пода)Число сопелСкорость воздуха, м/с:* при выходе из сопла
* в кипящем слое

Давление дутьевого воздуха, кг/см2  | 0,75-0,91500-210010-120,45-0,70,15-0,2 | 1-1,161150-130013-170,9-1,00,14-0,37 |

Подины печей изготавливают из жаропрочного бетона толщиной 250-300 мм или огнеупорного кирпича. В основании бетона укладывают подовый перфорированный лист из Ст3. Состав бетона на 1 м3: жидкое стекло – 400 кг, нефелиновый шлам – 100 кг, шамот тонкомолотый – 400 кг, шамотный песок – 400 кг, шамотный щебень – 550 кг. Отверстия под сопла размещают равномерно, выдерживая шаг между соплами 140-200 мм.

Подовый лист сваривают из отдельных секторов и приболчивают к металлоконструкции печи. Бетон укладывают после закрепления сопел на подовом листе. Для отвода избыточного тепла в зоне КС устанавливают коробчатые или трубчатые кессоны-змеевики для принудительного охлаждения. Производительность КС печей зависит от физических свойств обжигаемого материла, давления и скорости дутья, содержания в нем кислорода, температуры и толщины кипящего слоя, площади пода и объема рабочего пространства. Удельная производительность существующих печей составляет 3-9,5 т/м2 (тонн концентрата в сутки на 1 м2 пода печи).

Преимущества печей КС перед многоподовыми: в 3-4 раза выше удельная производительность, в два раза больше содержания в газах сернистого ангидрида, что обеспечивает рентабельность производства за счет дополнительного выпуска серной кислоты. Простая и надежная конструкция за счет отсутствия вращающихся деталей, более высокая степень герметизации агрегата, возможность работы в автоматическом режиме.

 Недостатки печей: большой вынос мелкого огарка с газами (до 30-40 % от исходного материала), в 5 раз больше удельный расход электроэнергии, огромное количество сопел в зоне КС усложняет эксплуатацию печи.

 **Тема 9 Разливочное оборудование**

Расплавленный металл для удобства транспортирования и дальнейшей переработки разливают в слитки (чушки) заданной формы и массы. Металл разливают в изложницы, внутренняя поверхность которых соответствует форме слитка, анода или вайербарса. В черной металлургии применяют также МНЛЗ, в цветной металлургии применяют разливочные машины двух типов: круглые (карусельные) и ленточные (прямолинейные). Имеются также машины для полунепрерывного литья заготовок. Для разливки металла в чушки используют машины обоих типов; при разливке в аноды (никель, черновая медь) и вайербарсы (рафинированная медь) применяют карусельные машины. Алюминий отливают в чушки и крупные слитки; свинец и цинк разливают в чушки.

Применение того или иного вида машин диктуется физико-механическими свойствами разливаемого металла, формой и размерами слитка, а также условиями производства.

*Карусельные разливочные машины*

Установка по разливке свинца в чушки включает в себя разливочную машину, устройство для заливки изложниц, устройство для выемки и укладки их в штабель, механизм для снятия окисной пленки и клеймения застывшихся чушек и пульт управления.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | свинец | медь на аноде | черновая медь | цинк |
| Диаметр карусели, мПроизводительность, т/чЧисло изложниц на машинеМасса слитка, кгМатериал изложницМощность электродвигателя, кВтСкорость движения при непрерывном вращении, об/минМасса машины без изложниц, тМасса изложниц, кг  | 640-502440чугун8,3134,5120 | 6;10;1320-30;55;4012;20;28240;250медь5,9;2x121;085;0,2424,6;53,1;951700 | 7,422018150чугун5,90,631,41700 | 3,854-122220чугун2-4,50,14-0,3436,135 |

На массивном стальном корпусе карусели радиально закреплены 24 кронштейна, несущие 24 изложницы. Карусель опирается на конические ролики, приводящиеся в движение от электродвигателя через червячный редуктор и открытую зубчатую передачу. Заливочный ковш или камера-дозатор заполняются свинцом из рафинированного или промежуточного обогреваемого котла. Для наклона ковша используют пневмо-, гидропривод и электромагнит. Электромагнит обеспечивает наиболее плавное проворачивание ковша. Изложницы заполняются во время пауз. Одновременно вынимают остывшие чушки и изложницы, снимают оксидные пленки и клеймят чушки. Выемка чушек происходит автоматическим чушкосъемником. Захват вместе с пневмоцилиндром подвешен на зубчатой рейке. Захваченные пять чушек поднимаются реечным механизмом и вместе с тележкой передвигаются для разгрузки и формирования штабеля. При подходе очередной изложницы опорно-поворотный стол поворачивается на 90°, в результате чушки складываются крест накрест образуя устойчивую клетку. Клетка захватывается вилкой автопогрузчика и транспортируется на склад или железнодорожный вагон. Машины с прерывистым движением карусели характеризуются пусками, остановками и большой инерционностью, поэтому для плавного пуска и замедления имеются реле ускорения-замедления и командо-контролер. Диаметр машины определяется временем необходимым на охлаждение металла и шириной изложниц. Для ускорения охлаждения применяют орошение изложниц водой. Качеству изложниц предъявляют особые требования: отливки не должны иметь малейших раковин, трещин, включений, внутренняя поверхность изложниц подлежит шлифованию. Для нормальной работы чушкосъемника надо обеспечить равномерность заполнения всех ячеек до заданного предела. Вилки захвата должны быть износостойкими, хорошо заостренными и симметрично расположены.

В процессе работы должна соблюдаться горизонтальность расположения изложниц на карусели. Горизонтальность выверяют уровнем под изложницами или между кронштейном и корпусом карусели устанавливают прокладки. Под особым наблюдением должен находиться опорный узел карусели – центр машины. Узел достаточно сложен. Конусные поверхности диаметром более 3,5 м сопряжены с коническими роликами малого диаметра.

*Машины для разливки меди на аноды*

Обслуживают две анодных печи. Может работать в полуавтоматическом и ручном режиме. При основном режиме заливку изложниц и пуск карусели осуществляет машинист, а плавный разгон, торможение, точная установка, разгрузка изложниц происходит автоматически. Привод машины: 2 двигателя постоянного тока, 2 червячно-цилиндрических редуктора синхронно передаваемых движение общему зубчатому венцу. Соединительные муфты осуществляют предохранение по предельному моменту.

*Ленточные (конвейерные) разливочные машины*

Ленточные машины применяются при разливке на чушки металла, сравнительно легко выбиваемых ударом при опрокидывании изложниц в конце машины. В цветной металлургии конвейерные машины используют для разливки цинка, алюминия, магния, медных шлаков, а в черной металлургии для разливки доменного чугуна. Ленточная машина представляет собой горизонтально непрерывно действующий конвейер из двух пластинчатых цепей с шарнирно закрепленными на них изложницами. Материал изложниц – жаростойкий чугун ЖЧХ-0,9. Заполнение металла осуществляется из ванны индукционной электропечи качающимся желобом, футерованным графитовой набивкой. Наклон желоба сблокирован с движением конвейера. Зазоры между смежными изложницами перекрываются специальным гребнем (козырьком). Изложницы проходят также зону водяного охлаждения. Чушки клеймятся автоматическим устройством, опрокидываются и выпадают от удара об отбойное устройство в виде стальной подпружиненной плиты. Конвейерная машина для разливки шлака отличается от этой конструкции разгрузочным и загрузочным устройствами, а также некоторыми другими деталями, что обусловлено сравнительно большой длиной машины.

Техническая характеристика ленточных разливочных машин

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Показатели | цинк | алюминий | медный шлак |
| Производительность, т/чДлина по осям звездочек, мСкорость движения ленты, м/минМощность электродвигателя, кВтЧисло изложниц Масса, кг * изложницы
* чушки

Общая масса машины, т | До 8,310,2860,09-0,1952,8241052014,6 | 3,35;4,4510,140,966;1,121;1,52;1,893,086-1613,67 | 820,50,95,8--10070 |

Изложницы заполняют через желоб кантовальным устройством, состоящим из опрокидывателя и привода. Заливочный ковш устанавливается на секторах опрокидывателя мостовым краном. Сектора опрокидывателя выполнены стальными литыми зубчатыми для зацепления с приводными шестернями. Разгрузка изложниц происходит от ударов по жесткому и упругому отбойным устройствам. Чушки падают по лотку в бункер и транспортируются в шлаковый отвал. Изложницы служат 2-5 месяцев. Причиной поломок является косой удар об отбойную плиту. Необходимо при регулировке настраивать машину так, чтобы удары воспринимались нормально и возможно большей поверхностью.

 Конвейерные разливочные машины имеют следующие преимущества перед карусельными: возможность получения большей единицы производительности за счет удлинения конвейера, более простая компоновка машины внутри цеха, более простая и менее металлоемкая конструкция, отсутствуют громоздкие детали и сложный привод.

Недостатками являются большое число шарнирных сочленений, требующих частых смазок и регулировки натяжения, малая степень использования изложниц.

*Горизонтальные конверторы*

Горизонтальные конверторы применяются для конвертирования жидких медно-никелевых и полиметаллических штейнов вдуванием в расплав сжатого воздуха. Образовавшиеся оксиды выводят из конвертора за счет добавки флюсующих материалов в виде шлака, пыли, возгонов. Конверторы характеризуются диаметром и длиной корпуса. Существуют конструкции с верхним отводом газов и боковым (осевым) отводом. Горизонтальные конверторы с верхним отводом газов через горловину выполняются емкостью 80 и 40 т.

*Сортовые МНЛЗ*

Производство сортового металла при большой мощности сталеплавильного цеха требует высокопроизводительных многоручьевых МНЛЗ. Проблема повышения производительности решается увеличением скорости разливки, увеличением ручьев и коэффициента использования МНЛЗ. Число ручьев зависит от дополнительной продолжительности литья данного объема металла и скорости литья заготовок. При вместимости различных ковшей 100-350 т для производства заготовок сечением 200x200-300x450 мм требуется применение 4-, 6-, 8-ручьевых машин с радиусом кривизны соответственно 8, 10, 12 м. Годовая производительность МНЛЗ при разливке с паузами после каждой разливки определяется по формуле:

,

где *tд* – количество дней работы в году (330-340 дней); *k1*=0,85-0,9 – коэффициент, учитывающий неравномерность подачи металла на разливку; *k2*=0,85-0,9 – коэффициент, учитывающий возможность неподготовленности машины к разливке; *Qк* – вместимость ковша, т; *tп* – длительность паузы при подготовке машины к разливке (2 ручья – 30 мин, 4 и более – 60-80 мин); *tр* – продолжительность разливки одной плавки.

Производительность при разливке плавка на плавку:

,

где *n* – число разливочных плавок.

Продолжительность разливки:

, мин,

где *F* – площадь поперечного сечения отливаемой заготовки, м2; *vр* – скорость разливки, м/мин; *z* – число ручьев;  - плотность жидкой стали.

*Механизмы качания кристаллизаторов*

В процессе непрерывного литья корочка затвердевшего слитка по мере движения вниз отходит от стенок. Чтобы этого избежать в корочке металла следует создать знакопеременные напряжения, предупреждающие зависание слитка и появление поперечных трещин на слитке. С этой целью скорость опускания кристаллизатора задается несколько больше скорости движения слитка. В результате создается отрицательное скольжение. Механизмы качания кристаллизатора радиальных МНЛЗ должны обеспечить возвратно-качательное движение кристаллизатора по участку круговой траектории с радиусом, равным радиусу кривизны кристаллизатора с определенным законом движения и частотой. Важным требованием конструкции этого механизма является возможность получения качаний с высокой частотой. Это уменьшает шаг и глубину складок, образовавшихся на поверхности слитка при качательном движении, усредняет теплоотвод и снижает неравномерность в нарастании толщины корочки металла. Механизмы качания кристаллизатора могут быть:

1. рычажно-кулачковые;
2. рычажно-кулисные;
3. рычажно-кулачковые, с присоединением шарнирным 4-звенником;
4. рычажно-кулачковые с роликовыми направляющими.

Шарнирный 4-звенник позволяет примерно воспроизводить круговую траекторию на участке движения кристаллизатора.

**Тема 10 Аппараты для процесса выщелачивания**

Процессы выщелачивания применяют в гидрометаллургии цинка и никеля.

Классификаторы. При работе на агрессивных средах конус и другие детали защищают кислотостойкой резиной или изготавливают из нержавеющей стали.

Мешалки (агитаторы). Мешалки в зависимости от принципа действия различают пневматические и механические. Механические бывают лопастные (с плоскими лопатками), винтовые (пропеллерные) с лопастями винтообразной формы, турбинные и другие. Пневматические мешалки (пачуки) применяются на цинковых заводах для непрерывного перемешивания и выщелачивания пульпы. Мешалка работает по принципу аэролифта. Пульпа, смешиваясь с воздухом, поднимается по аэролифтной трубе к верху в зону выпускных желобов, тяжелые слои пульпы опускаются вниз к соплу, подхватываются вдуваемым воздухом и поднимаются к верху. Происходит непрерывная циркуляция пульпы и интенсивное перемешивание, для усиления которого применяют обогрев пульпы паром. Корпуса пачуков бывают деревянные, стальные и преимущественно железобетонные. Железобетонные и стальные пачуки футеруют кислотостойким кирпичом на цементе с подслоем из рубероида. Пачуки характеризуются простотой устройства и долговечностью.

Механические мешалки. Мешалка с диффузором служит основным аппаратом при периодическом выщелачивании. Основные части: стальной цилиндрическо-конический корпус, винт с диффузором и привод. Винт мешалки с двумя лопастями имеет профиль, подобный профилю судового винта. Под действием центробежной силы при вращении пульпа перемещается в плоскости вращения лопастей от центра к стенке. Сферические крышки очень плотно закрывают ступицу из стали 40. Материал лопастей – нержавеющая сталь Х18Н9Т. Поверхность головки покрывают кислотостойкой резиной. Диффузор и змеевик обеспечивают лучшее выщелачивание за счет интенсивного перемещения материала.

**Литература**

1. Машиностроение. Энциклопедия в 40 томах. Том IV-5 Машины и агрегаты металлургического производства. – М.: Машиностроение, 2004– 912 с.
2. Целиков А.И., Полухин П.И. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов, М.: Металлургия, 1988 т.1, 415с., т.2, 328с.
3. Притыкин Д.П. Механическое оборудование заводов цветной металлургии, ч.1и 2. М.: Металлургия, 1988, 392с.
4. Кохан Л.С., Навроцкий А.Г. Механическое оборудование цехов по производству цветных металлов – М.: Металлургия, 1985 –330с.
5. Ширенко Н.С. Механическое оборудование доменных цехов – М.: Металлургия, 1975.-478с.
6. Иванченко Ф.И., Павленко В.А. Механическое оборудование сталеплавильных цехов – М.: Металлургия, 1986-326с.
7. Сапко А.И. Механическое и подъемно-транспортное оборудование электрометаллургических цехов – М.: Металлургия, 1978, 326с.
8. Аксенов П.Н. Оборудование литейных цехов – М.: Машиностроение, 1988, 386с.
9. Басов А.И., Ельцев Ф.П. Справочник механика заводов цветной металлургии – М.: Металлургия, 1981, 496с.
10. Основы металлургии т.7 Технологическое оборудование предприятий цветной металлургии М.: Металлургия, 1975, 1008с.
11. Гребеник В.И. и др. Расчеты металлургических машин и механизмов. – Киев: Вища школа, 1988, 488с.
12. Кружков В.А. Металлургические подъемно-транспортные машины – М.: Металлургия, 1989, 464с.