

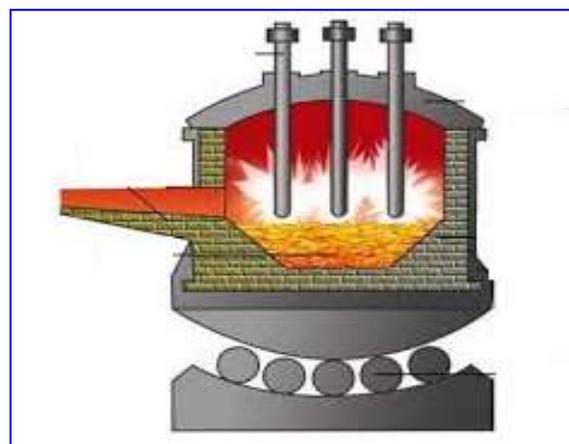
**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
КАРШИНСКИЙ ИНЖЕНЕРНО – ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ ЭНЕРГЕТИКА**

5310100-ЭНЕРГЕТИКА (ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА)

Учебное пособия

по предмету

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРОЦЕССИИ И УСТАНОВКИ



Карши – 2022

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

КАРШИНСКИЙ ИНЖЕНЕРНО – ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Т.Я.Хамраев, К.С.Шамсиев

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЯ

По предмету

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРОЦЕССИИ И УСТАНОВКИ

І-ЧАСТЬ

Карши-2022г

УЎК 621.1.620.9

КБК 84(50)6267

Т.Я.Хамраев, К.С.Шамсиев

В данном учебном пособии приведены и рассмотрены конструкции высокотемпературных установок, принцип работы установок, их конструктивные и вспомогательные элементы, энергетические характеристики, а также тепломассообменный и тепловой расчеты. В учебном пособии освещены методы математического моделирования процессов в высокотемпературных установках, практикуемые системы автоматизации установок. Включает классификацию печей, вопросы сжигания топлива, рассматривана тепловая работа и конструкции нагревательных печей, энергосбережение и экологические требования при эксплуатации печей.

Рецензенты: У.Х Ибрагимов (phd) кафедры
«Теплоэнергетика»
Жураев.К.А директор Кашкадаря
«Вилоят Иссиқлик манбаи» ГУП

ВВЕДЕНИЕ

В нашей стране на основе стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан на 2017-2021 годы происходят огромные изменения во всех сферах и отраслях. В связи с этим Президент Республики Узбекистан подписал указ «О развитии системы издания и распространения книг, постановление от 13 сентября 2017 года о комплексной программе меры по развитию и повышению культуры чтения и чтения» гласит-разработать конкретные меры по увеличению количества научной, технической, литературной и энциклопедической литературы на новом узбекском алфавите на основе латиницы и кириллицом

В предмет «Высокотемпературные процессы и установки» цель преподавания предмета - научить студентов технологии производства, группировки и наименования высокотемпературных процессов и устройств, их устройства и принципа действия, их составные части и вспомогательное оборудование, процессы преобразования энергии одного вида в другой в высокотемпературных процессах и устройствах, а также КПД и мощность промышленных печей, режимы их работы и энергетические характеристики, должны быть полностью освоены тепловой расчет высокотемпературных устройств, инструкции по выбору изоляционных материалов, устройства печей, воздухозаборных устройств, печных устройств типа камер сгорания.

Студенты обладают всесторонними знаниями о высокотемпературных устройствах в промышленности, используя свои знания для сборки деталей печей таким образом, чтобы они соответствовали требованиям, исключали потери при термических процессах, мартеновских печах, доменных печах, облицовочных стенках, должен быть в состоянии полностью овладеть знанием языка. Информация, представленная в данном учебнике, поможет студентам, обучающимся в республике, стать зрелыми и квалифицированными кадрами, поможет им выработать практические и теоретические навыки в науке, а также послужит основой для их эффективного использования в будущем, что он внесет достойный вклад.

ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЯ: ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧАХ

1.1. Высокотемпературные тепловые установки.

Промышленная печь – это агрегат для тепловой обработки материалов, а именно, для их нагрева с целью осуществления какого-либо технологического процесса. В металлургических печах производят нагрев до высокой температуры с целью получения металлов и сплавов – чугуна, стали, ферросплавов, цветных металлов, а также для придания металлическим или огнеупорным изделиям требуемых механических свойств.

На металлургических предприятиях высокотемпературные печи являются основным технологическим оборудованием. Для нагрева материалов необходимо снабжать печь энергией в форме теплоты и передавать теплоту нагреваемым материалам. Теплотехнический процесс генерации теплоты в печи и передачи её материалам составляет сущность тепловой работы печи.

Технологический процесс может происходить в рабочем пространстве печи одновременно с теплотехническим, как, например, при выплавке металла, обжиге огнеупоров, при термообработке отливок. В другом случае технологический процесс следует за теплотехническим и происходит вне печи, например, при нагреве слитков и заготовок перед обработкой давлением: прокаткой, ковкой, прессованием.

Современные печи представляют собой разнообразные по конструкции, сложные тепловые агрегаты. Они состоят из собственно печи и вспомогательного оборудования. Собственно печь включает в себя рабочее пространство и устройства для генерации теплоты: горелки, форсунки, фурмы в топливных печах и электроды, резисторы в электрических печах. В состав вспомогательного оборудования входят устройства для утилизации теплоты и очистки, уходящих из печи дымовых газов, вентиляторы,

дымососы, трубопроводы с клапанами и задвижками, дымовые трубы, контрольно-измерительные приборы и устройства для управления печью.

В основе многих технологических процессов лежит тепловая обработка материалов и изделий: Нагрев и плавление металлов, обжиг строительного и огнеупорного кирпича, обжиг фарфора и других керамических изделий, получение вяжущих материалов (цементного клинкера, извести, гипса) получение стекла, термическая переработка топлива и т. д.

Тепловая обработка металлов и других изделий осуществляется в технологических или энерготехнологических агрегатах промышленных печей, в которых материалам или изделиям в условиях относительно высоких температур придаются свойства, необходимые для дальнейшей обработки или для выпуска в качестве конечного продукта.

1.2.Классификация и конструктивные схемы промышленных печей

Так, в нагревательных печах стальные слитки или заготовки приобретают повышенную пластичность и текучесть, необходимую для прокатки иковки. В чугунолитейных вагранках чугун переходит из твердого состояния жидкое, котором он хорошо заполняет пустоты форм для отливок. Химический состав чугуна при его расплавлении может быть изменен в зависимости от требований, предъявляемых к литью (серый чугун, жаропрочный чугун и т. д.).

Промышленные печи классифицируют следующим образом:

- по роду производства и технологическому назначению металлургические (доменные, сталеплавильные, нагревательные, прокатные, термические); печи машиностроительных заводов (литейные вагранки, нагревательные, кузнечные, термические, цементообжигательные печи и др.);
- по форме рабочего пространства — камерные, многокамерные, кольцевые, карусельные, туннельные, шахтные, вращающиеся барабанные и др.;

- по режимно-организационным признакам — непрерывного действия, периодического действия;
- по степени механизации — механизированные, немеханизированные;
- по способу теплообмена — высокотемпературные с радиационным теплообменом, низкотемпературные с конвективным теплообменом;
- по способу регенерации теплоты — регенеративные и рекуперативные;
- по способу нагрева — с прямым нагревом (дымовые газы соприкасаются с изделием) и косвенным нагревом (дымовые газы отделены от изделий стенками);
- по способу загрузки — с периодической и непрерывной загрузкой.

Печи с непрерывной загрузкой обеспечивают определенный режим производства, более высокую производительность и лучшее использование топлива. При мелкосерийном и единичном производстве (крупные поковки) применяют камерные печи с периодической загрузкой. В крупносерийном и массовом производстве, когда за определенным агрегатом (молотом, прессом, ковочной машиной) закреплено небольшое количество однотипных заготовок, широко используют автоматизированные печи с непрерывной загрузкой. Камерные печи. При обработке в печах крупногабаритных деталей целесообразно использование двухкамерных печей. В этом случае при обычных условиях вторая камера используется для нормализации деталей или для предварительного подогрева заготовок.

При нагреве же деталей завышенных размеров включается горелочное устройство второй камеры. Камерные печи работают на газообразном или жидком топливе. Одним из основных элементов этих печей являются *горелки*. Существующие газовые горелки подразделяются на двухпроводные с принудительной подачей газа и воздуха и инжекционные однопроводные, в которых один из компонентов (обычно воздух) подсасывается другим (обычно газом), выходящим под давлением. Инжекционные горелки работают с полным внутренним смешением газа и

воздуха и поэтому обеспечивают сгорание топлива с наименьшим коэффициентом избытка воздуха.

Рекуперационный подогрев воздуха, являющийся обязательным для всех новых и реконструированных печей, обуславливает применение (при невозможности обеспечения постоянства давления газа на уровне 0,02—0,03 МПа и невозможности регулирования тягового режима) газовых двухпроводных горелок. Эти горелки рекомендуются к установке также на вновь строящихся печах, которые периодически будут работать на газе или жидком топливе, что в настоящее время необходимо предусматривать для обеспечения их бесперебойной работы. В низкотемпературных печах для снижения температуры в рабочем пространстве жидкое топливо и газ сжигаются с большим коэффициентом избытка воздуха (1,3—1,6). Это приводит к снижению КПД печи в связи с увеличением потерь теплоты с уходящими газами. Необходимого снижения температуры в рабочем пространстве печи наиболее целесообразно добиваться за счет внешней рециркуляции газов, при которой часть дымовых газов возвращается в топку или рабочее пространство печи при помощи вентилятора или за счет разрежения, создаваемого горелками.

1.3. Классификация термической обработки изделий.

В некоторых термических печах стальные изделия нагреваются, затем охлаждается по заранее определенному режиму, чем достигается получение определенных механических свойств путем изменения внутренней структуры металла без изменения его химического состава (отжиг, нормализация, закалка и отпуск). В печах для термохимической обработки стальных изделий металл нагревается для того, чтобы облегчить, насыщение поверхности, металла углеродом (цементация) или азотом (автоматизация) или одновременно углеродом и азотом (цианирование).

В печах для тепловой обработки материалов одновременно протекает ряд сложных процессов: газификация и горение топлива, движение дымовых газов в рабочем пространстве, передача тепла от горящего факела и дымовых газов к обрабатываемому материалу (непосредственно или посредством вторичного излучателя – кладки), продвижение тепла от поверхности изделий внутрь, экзотермические и эндотермические процессы при превращении обрабатываемого материала и т.д. и т.е. Все эти сложные процессы взаимно связаны, их совокупность составляет суммарный процесс тепловой обработки, и они не могут рассматриваться изолированно.

Ведущими из этих процессов являются процессы передачи тепла, источником тепла в топливных (пламенных) печах является топливо: газ, мазут, угольная пыль, каменноугольный кокс, бурый уголь, – каменный уголь и т.д. химическая энергия топлива при его сжигании превращается в тепловую энергию, носителем которой являются продукты сгорания. В настоящее время, главным образом в взвешенном состоянии. В печах с «кипящим» слоем катализаторов осуществляются: процессы окисления (получение водорода и окиси углерода, конверсия метана, окисление аммиака и другие) и процессы гидрирования и дегидрирования (синтез аммиака и др.).

1.4. Термическая обработка материалов и изделий в различных технологических процессах.

Очень большое значение имеют печи в промышленности огнеупорных и абразивных материалов, а также в пищевой, промышленности. Выполняя определенные технологические функции, печи, представляют собой сложные теплоэнергетические агрегаты, потребляющие большое количество топлива (главным образом, высокостного). Потребление топлива печами занимает одно из первых мест в общем топливном балансе страны, и правильное использование топлива в печах представляет, важнейшую

народнохозяйственную задачу многие заводы оборудованы современными печами, хорошо выполняющими свое назначение и имеющими высокие показатели по использованию топлива. Наряду с этим имеется очень много печей, имеющих низкие коэффициенты полезного действия (К.П.Д).

До последнего времени, например, мартеновские печи имели многие из них и сейчас имеют (К.П.Д) порядка 20-25%. Вместе с тем благодаря интенсификации хода плавки, лучшей организации производства и использованию потерь тепла некоторые заводы повысили (К.П.Д) мартеновских печей до 40-50%, т. е. увеличили использование топлива более чем в 2 раза.

1.5. Процессы, происходящие в технологических процессах.

Практически любой технологический процесс можно рассматривать как часть более сложного процесса и совокупность простых (в пределе — элементарных) технологических процессов. Элементарным технологическим процессом или технологической операцией называется наименьшая часть технологического процесса, обладающая всеми его свойствами. Дальнейшая декомпозиция тех.операции приводит к потере признаков, характерных для метода, положенного в основу данной технологии.

Часто каждая технологическая операция выполняется на одном рабочем месте одним сотрудником. Примером технологических операций могут служить ввод данных с помощью сканера штрих-кодов, распечатка отчёта, выполнение SQL-запроса к базе данных и т. д.

При современном уровне знаний есть возможность строить печи с высоким (К.П.Д). Осуществляя регенерацию тепла отходящих газов с подогревом воздуха высоких температур, используя вторичные энергетические ресурсы, а также применяя энерготехнологическое комбинирование, можно улучшить использование топлива уменьшить удельные расходы топлива. Промышленные печи работают чаще всего на

природном газе, искусственном газообразном топливе и на мазуте, так как при этих топливах обеспечивается их работа с наилучшими показателями (высокая производительность, высокое качество и невысокая себестоимость продукции, хорошие условия труда) при легком осуществлении автоматического регулирования тепловых процессов.

Примеры решения задач по теме

Задача 1. Оценить необходимую мощность W теплового источника для восполнения потерь тепла через кирпичную стену поверхностью $S = 50 \text{ м}^2$ и толщиной $L = 0.5 \text{ м}$, если температура на внутренней поверхности стены $T_1 = +20^\circ\text{C}$, а снаружи $T_2 = -30^\circ\text{C}$. Если тепловой источник - печь с кпд, равным $\eta = 70\%$, то сколько нужно сжигать угля в сутки? Теплота сгорания угля $Q = 18 \text{ МДж/кг}$.

Указания к решению. По формуле (2.1.4) найдем плотность теплового потока: $q = \lambda(T_1 - T_2)/L$, где теплопроводность кирпича λ - табличное значение (таблица 1.1). Умножив q на площадь поверхности стены S , найдем полный тепловой поток через стену, который, очевидно, и равен искомой мощности W . Умножив W на количество секунд в сутках, определим энергию, выделяемую источником тепла за сутки, а разделив эту энергию на Q и на η , найдем суточный расход угля m .

Ответ: $W = 4.15 \text{ кВт}$, $m = 28.5 \text{ кг}$.

Задача 2. Контейнер сферической формы, в котором хранятся радиоактивные отходы от ядерного реактора, закопан в грунт на большую глубину. В результате радиоактивных распадов в этом контейнере каждую секунду выделяется $W = 1 \text{ кДж}$ тепла. Наружный диаметр контейнера $D = 1 \text{ м}$, толщина стенки $d = 60 \text{ мм}$, коэффициент теплопроводности материала стенки $\lambda_{cm} = 1,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Предполагая, что источники тепла распределены внутри контейнера равномерно, определить температуры T_1 и T_2 на внутренней и наружной поверхностях контейнера, плотность теплового потока на внутренней поверхности q_1 , а также оценить размер области "теплового

загрязнения" окружающей среды, т.е. расстояние до контейнера r , на котором температура грунта превышает естественное фоновое значение T_0 на ΔT 1°C. Теплопроводность грунта принять равной $\lambda_{ep} = 2.5$ Вт/(м·К), "невозмущенную" температуру T_0 принять равной 4°C.

Решение. Воспользуемся формулами, полученными в разделе 2.3. Граничные условия на внутренней и наружной стенках контейнера имеют вид:

$$q_1 = -\lambda \left. \frac{dT}{dr} \right|_{R_1} = \frac{W}{4\pi R_1^2}; \quad T|_{R_2} = T_2,$$

где $R_2 = D/2$, $R_1 = R_2 - d$. Подставляя численные значения, находим: $q_1 = 411$ Вт/м². Для оценки температуры грунта воспользуемся формулой (2.3.7):

$$T = T_0 + \frac{W}{4\pi\lambda_{ep}r}.$$

Подставляя сюда $r = R_2$, находим температуру на внешней поверхности контейнера: $T_2 = 67.7^\circ\text{C}$. Температура на внутренней поверхности равна

$$T_1 = \frac{W(R_2 - R_1)}{4\pi\lambda_{cm}R_1R_2} + T_2 = 87.5^\circ\text{C}.$$

Далее, из формулы (2.3.7) выразим расстояние r , на котором разность $T - T_0$ равна заданной величине ΔT :

$$r = \frac{W}{4\pi\lambda_{ep}\Delta T}.$$

Подставляя численные значения, находим: $r = 31.8\text{ м} \approx 32\text{ м}$.

Ответ: $q_1 = 411$ Вт/м², $T_1 = 87.5^\circ\text{C}$, $T_2 = 67.7^\circ\text{C}$, $r \approx 32$ м.

Контрольные вопросы?

- 1-Что лежит в основе упомянутого технологического процесса?
2. Для чего нужна химическая обработка стальных изделий?
- 3-Детали машин, химические продукты, отливки и другие категории обрабатываются в какой печи?
- 4- Кто рассчитал крупномасштабный тепловой расчет печи?

ГЛАВА.2 КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧЕЙ.

2.1. Печи по видам производственно-технологического назначения

Промышленные высокотемпературные печи – это установки, используемые в черной и цветной металлургии. Установки отличаются тем, что имеют высокую производительность, способны подвергать термической обработке изделия большой величины, а также серию товаров. По конструктивным особенностям отличают камерные, вакуумные шахтные, промышленные печи. Шахтные печи являются самыми крупногабаритными и в них объекты обрабатываются соответствующие детали и объекты. Проектирование промышленных печей данным предприятием является основной их положительной стороной. Основные операции термической обработки выполняются камерных, шахтных, вакуумных печей.

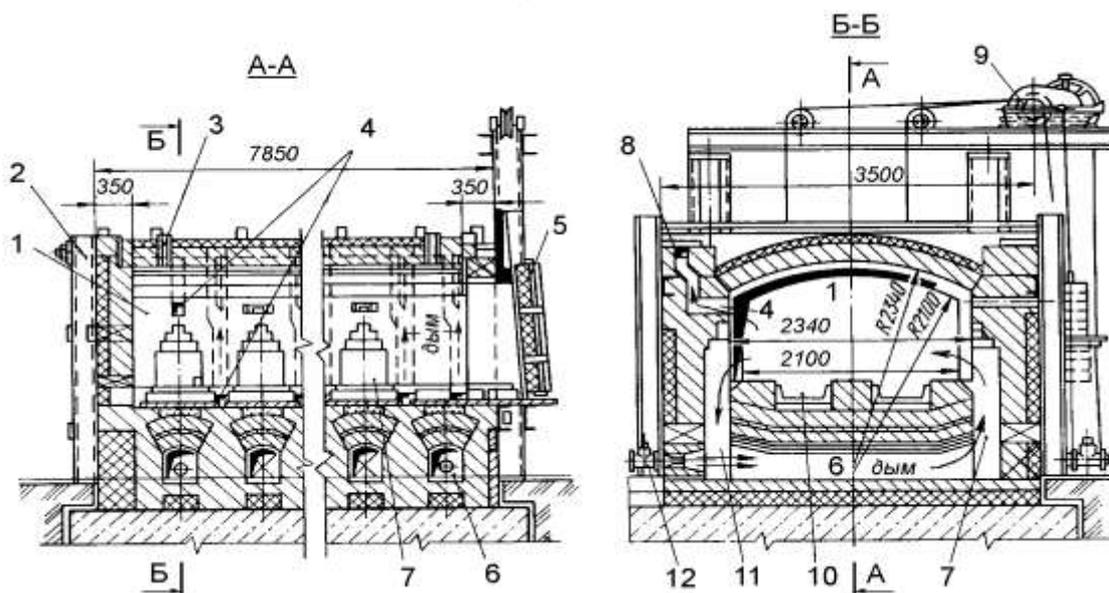


Рис. 2.1 – Камерная печь с внешней механизацией:

- 1 - рабочее пространство;
- 2 - каркас;
- 3 - отверстия для термопар;
- 4 - дымоотводящие каналы;
- 5 - заслонка;

- 6 - подподовая топка;
- 7 - канал входа дыма в рабочее пространство;
- 8 - сборный канал для дыма;
- 9 - механизм подъема заслонки;
- 10 - углубления в подине для лап напольной машины;
- 11 - рециркуляционный канал;
- 12 - горелка



Рис 2.2. Шахтные печи

Шахтные печи получили широкое распространение в цветной металлургии, а также в металлообработке. И их помощью происходит плавка руды и агломерата для получения таких металлов, как никель, свинец, медь и цинк. В термической обработке металлов все печки подобного типа можно разделить на основные группы, по характеру выполняемых ими задач:

- а) Шахтные печи для цементации и нитроцементации;
- б) Карбонитрирования;
- в) Азотирования;
- г) Обработки после процессов ХТО в защитной или воздушной среде.

Подобные печи обладают весьма солидной мощностью. Для оптимального применения таких агрегатов нужно с особой тщательностью проводить расчеты материалов, погружаемых в них. Размер кусков шихты или

расплавленного металла не должен превышать 6 – 12 сантиметров, а в отдельных, особо мощных печах, допускается применять образцы до 24 сантиметров.

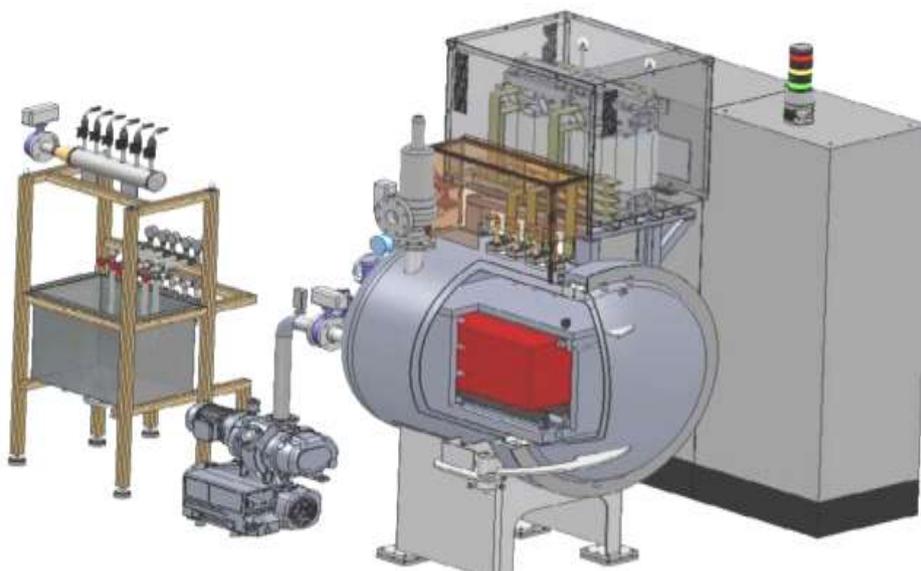


Рис. 2.3-Вакуумная печь

Вакуумная печь представляет собой герметичное нагревательное устройство, в полости которого создается разрежение с величиной, определяемой технологическим процессом. Вакуумная (от лат. “vacuus” — “пустой”) печь (от православл. “ректъ” — “пеку, печь”) предназначена для плавки или нагрева в вакууме материалов высокого качества и стоимости.



Рис.2.4- Туннельные печь

2.2. Виды и типы промышленных печей:

Все установки имеют трехлетнюю гарантию, при их изготовлении использовался инновационный метод контроля при изготовлении оборудования. Печи промышленные имеют все, чтобы использоваться для выполнения сложных задач, которые не могут выполнить другие. Печи промышленного назначения изготавливаются из жаропрочных сплавов, которые получают из отливок. Все компоненты имеют микрорегулирующие составляющие. Конструирование промышленных печей производят высококвалифицированные специалисты, которые имеют большой опыт работы.

Промышленные печи отличаются не только высокой производительностью, но и другими характеристиками. Цена промышленных печей всегда более высокая, поскольку они способны приносить предприятию значительную прибыль. Кроме этого печи для промышленных помещений значительно отличаются от лабораторных печей. Испытание промышленных печей производится по тем же нормам, но с учетом места и способа эксплуатации. Купить промышленную печь на предприятие сложнее, поскольку необходимо учитывать множество факторов. Промышленные печи «накал» имеют многочисленные положительные отзывы.



Рис.2.5- Электрическая печь

промышленная конвекционная печь;
промышленные индукционные печи;
промышленные печи для плавки алюминия;
промышленные нагревательные печи;
промышленная печь для обжига керамики;
промышленная печь для плавки;
промышленные термические печи;
промышленная трубчатая печь;
печи для плавки алюминия;
промышленные муфельные печи;
печи высокотемпературные промышленные;

2.3. Применение промышленных печей

Промышленные нагревательные печи находят применение на машиностроительных, приборостроительных, металлургических предприятиях. На сегодняшний день предприятия постоянно совершенствуют оборудование, используемое для выполнения различных операций в печах. Установки становятся более автоматизированными, с их помощью выполняют самые сложные операции, позволяющие получать высококачественные материалы. Промышленные вакуумные печи отличаются от других печей значительно. В первую очередь это связано с качеством получаемого результата.

Сегодня во всех сферах используется вакуум. Он позволяет избежать воздействия дополнительных внешних факторов на качество изготавливаемого материала. Особенно это касается промышленных печей отжига, закалки или других процессов. Установки используются для выполнения отпуска, закалки, плавления, переплавки металлов в черной и цветной металлургии. Металлы, которые подвергаются термической обработке в вакууме, имеют высокое качество благодаря тому, что с них

снимается напряжение, обновляется их структура, происходит дегазация, они становятся более однородными.



Рис.2.6. Нагревательные печи

Промышленные печи находят применение не только на заводах, но и в лабораториях. Благодаря высокопроизводительным установкам исследуют возможности тех или иных металлов и сплавов. Термической обработке могут подвергаться изделия из стекла керамики и т.д. Промышленные печи имеют еще одно применение – сушка. Некоторые установки выполняют обработку древесины и высушивают ее.

Фармакологические предприятия с их помощью производят некоторые лекарственные препараты. Во всех случаях главным преимуществом вакуумных индукционных, дуговых печей является то, что с их помощью можно получить чистые сплавы. Они нередко используются предприятиями по конструированию элементов авиационных машин и оборонных установок.

Контрольные вопросы?

- 1.Высокотемпературные промышленные высокотемпературные печи, где основным устанавливаются?
- 2.Основные операции термической обработки выполняются, каким печ?
- 3.Промышленные вакуумные печи как отличаются от других печей?
- 4.Промышленные печи отличаются как других промышленных печей?

ГЛАВА 3. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧЕЙ.

3.1. Общая схема устройства печи

Общая схема устройства печи назначение ее отдельных элементов промышленная печь в общем случае состоит из основных элементов, указанных на рис. 3.1

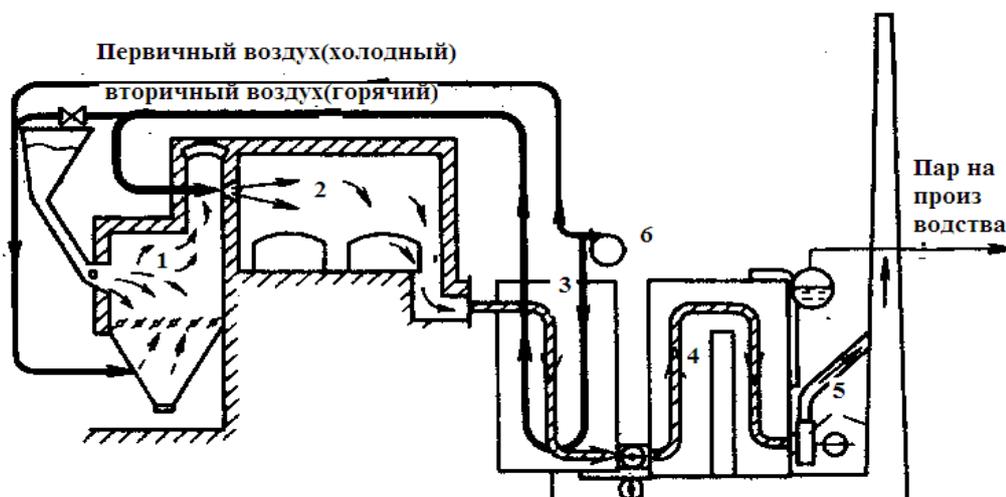


Рис. 3.1- Общая схема устройства печи.

1. топочное устройство; 2 рабочее пространство; 3 регенеративное устройство; 4. котел-утилизатор; 5 -дымосос; 6 вентилятор.

Принципиальные схемы печей и их конструкция зависят: от вида технологического процесса и характера производства; требований, предъявляемых к качеству тепловой обработки; масштабов производства; рода энергии, используемой в печах (для пламенных печей от вида и качества топлива). Лучшей схемой пламенной промышленной печи будет такая, которая обеспечивает высокую удельную производительность (на 1 из объема или на 1 м² площади пода в единицу времени) при высоком качестве тепловой обработки материала и малых удельных расходах топлива, т. е. расходах топлива, отнесенных к единице количества исходного материала или готовой продукции. Высокая производительность определяется, во-

первых, поточностью технологического процесса устройством непрерывно действующих печных агрегатов и, во-вторых, интенсивностью теплообменных и массообменных процессов, протекающих в рабочих пространствах печей, что достигается разными путями:

3.2. Устройство рабочего пространства промышленных печей

1) повышением температуры в печах путем высокотемпературного нагрева воздуха, идущего на горение топлива. Это чаще всего осуществляется в плавильных печах, где температура факела часто не имеет ограничений и лимитируется только стойкостью огнеупоров. Например, в регенеративных печах для плавки стали, стекла и других материалов температура подогрева воздуха достигает 1000-1200°С, что сильно повышает температуру факела при сжигании мазута или природного газа.

При использовании низкокалорийных газов доменного и генераторного подогревают не только воздух, но и газ;

- 2) использованием высоко турбулизации факела (потока продуктов сгорания) в «кипящем» слое измельченного сырья в печах с кипящим слоем;
- 3) использованием центробежного эффекта закручивания потока воздуха и газов, что сильно интенсифицирует процессы тепло и массообмена за счет тесного контакта вихревого потока газов и мелкозернистого материала и турбулизации пограничного слоя газов у частиц в циклонных печах;
- 4) использованием высокоскоростных свойств потока раскаленных газов (при «атакующих» горелках) в печах высокоскоростного нагрева
- 5) увеличением температуры кладки за счет интенсивного нагрева ее поверхности особыми плоскопламенными горелками с последующей передачей тепла на изделия;
- 6) увеличением давления в рабочем пространстве печного агрегата в доменных печах для плавки чугуна из железных руд и в других. Выше приведены главные приемы интенсификации тепло и массообмена. Как было

сказано, первым условием хорошей работы печных агрегатов является непрерывность процесса нагрева; это реализуется в печах при непрерывном движении материала сквозь рабочие пространства печей: за счет гравитационных сил (в шахтных печах); при помощи конвейеров разной конструкции; за счет проталкивания специальными толкателями изделий, загруженных на вагонетках (в туннельных печах) или лежащих на глиссажных трубах (стальные заготовки в нагревательных печах).

В виду большого разнообразия технологических процессов нет единых решений в приемах, обеспечивающих высокие производственные показатели печей эти приемы разнообразные зависят от конкретных особенностей.

3.3. Принципиальные схемы печей и их конструкция

Принципиальные схемы печей и их конструкция зависят: от вида технологического процесса и характера производства; требований, предъявляемых к качеству тепловой обработки; масштабов производства; рода энергии, используемой в печах (для пламенных печей от вида и качества топлива). Лучшей схемой пламенной промышленной печи будет такая, которая обеспечивает высокую удельную производительность (на 1 м³ объема) или на 1 м² площади пода в единицу времени) при высоком качестве тепловой обработки материала и малых удельных расходах топлива, т. е. расходах топлива, отнесенных к единице количества исходного материала или готовой продукции.

Высокая производительность определяется, во-первых, поточностью технологического процесса — устройством непрерывно действующих печных агрегатов и, во-вторых, интенсивностью теплообменных и массообменных процессов, протекающих в рабочих пространствах печей, что достигается разными путями: повышением температуры в печах путем высокотемпературного нагрева воздуха, идущего на горение топлива. Это чаще всего осуществляется в плавильных печах, где температура факела

часто не имеет ограничений и лимитируется только стойкостью огнеупоров. Например, в регенеративных печах для плавки стали, стекла и других материалов температура подогрева воздуха достигает 1000°C — 1200°C , что сильно повышает температуру факела при сжигании мазута или природного газа. При использовании низкокалорийных газов — доменного и генераторного — подогревают не только воздух, но и газ; использованием высоким турбулизации факела (потока продуктов сгорания) в «кипящем» слое измельченного сырья — в печах с кипящим слоем; использованием центробежного эффекта закручивания потока воздуха и газов, что сильно интенсифицирует процессы тепло и массообмена за счет тесного контакта вихревого потока газов и мелкозернистого материала и турбулизации пограничного слоя газов у частиц — в циклонных печах; использованием высокоскоростных свойств потока раскаленных газов (при «атакующих» горелках) — в печах высокоскоростного нагрева; увеличением температуры кладки за счет интенсивного нагрева ее поверхности особыми плоскопламенными горелками с последующей передачей тепла на изделия; увеличением давления в рабочем пространстве печного агрегата в доменных печах для выплавки чугуна из железных руд и в других. Выше приведены главные приемы интенсификации тепло и массообмена.

Как было сказано, первым условием хорошей работы печных агрегатов является непрерывность процесса нагрева; это реализуется в печах при непрерывном движении материала сквозь рабочие пространства печей: за счет гравитационных сил (в шахтных печах); при помощи конвейеров разной конструкции; за счет проталкивания специальными толкателями изделий, загруженных на вагонетках (в туннельных печах) или лежащих на глоссажных трубах (стальные заготовки в нагревательных печах).

В виду большого разнообразия технологических процессов нет единых решений в приемах, обеспечивающих высокие производственные «показатели печей, — эти приемы разнообразим и зависят от конкретных особенностей. Ниже приводятся некоторые примеры конструкции печей. Эти

примеры расположены по признаку использования тепла в рабочем пространстве печей: тепла продуктов сгорания — для нагрева изделий и тепла остывающих изделий или материала для нагрева воздуха, идущего на сгорание топлива.

3.4. Регенерации тепла и в рабочем пространстве

В настоящее время энергосбережение является стратегической задачей государственного масштаба. На многих предприятиях имеют место значительные энергетические потери за счет недостаточного использования теплоты в технологических процессах. В том числе, теплота газа, нагретого в процессе того или иного производства, либо используется не эффективно, либо не используется вообще, и нагретый газ выбрасывается в атмосферу. Это приводит к большим энергетическим потерям в объемах предприятия, страны, мира, а также определяет различные проблемы экологического характера. Особенно это характерно для высокотемпературных производств (до 1000°С и более), т. е. именно там, где энергетические потери наиболее велики. Решением данной проблемы является рекуперация теплоты уходящих газов. Их выбор определяется физико - химическими свойствами рекуперлируемых компонентов, качественным и количественным составом сырьевых и технологических материалов, характером технологических операций и т. д.

На металлургических и машиностроительных предприятиях одним из важнейших звеньев технологического процесса производства полуфабрикатов и деталей машин является термическая обработка, которая может сочетаться с химическим, деформационным, магнитным и другими воздействиями. К термической обработке металлических изделий относятся следующие операции: отжиг, закалка, отпуск и химико-термическая обработка. Для нагревания металла используют термические печи, которые в зависимости от источника энергии и вида топлива подразделяют на

электрические, газовые, печи, работающие на жидком и твердом топливе, а также установки для нагрева токами высокой (ТВЧ) и промышленной частоты. В термических печах температура металла, нагреваемого для термической обработки составляет 800-1000°C (за исключением отпускных печей), температура газов в рабочем пространстве печи достигает 850-1100°C. В нагревательных печах конечная температура нагреваемого перед прокаткой, ковкой и штамповкой металла колеблется от 1100⁰ С до 1250°C, а дымовых газов в рабочем пространстве печей – от 1200⁰ С до 1450°C. Температура уходящих из печей камерного типа дымовых газов приближается к конечной температуре нагрева металла, за исключением газов печей периодического (по температуре) действия.

В печах методического (по ходу дымовых газов) действия, где нагреваемый металл движется навстречу охлаждающимся дымовым газам, температура уходящих дымовых газов несколько ниже приведенной, но составляет все же для термических методических (проходных) печей примерно 500-700°C и для нагревательных методических печей – примерно 700-1100°C. Дымовые газы, покидающие рабочее пространство печей, имеют высокую температуру и поэтому уносят с собой значительное количество теплоты. Из рабочего пространства печей дымовые газы уносят тем больше теплоты, чем выше температура дымовых газов и чем ниже коэффициент использования теплоты в печи. В нагревательных печах с уходящими дымовыми газами теряется около 60-65% располагаемой теплоты.

Контрольные вопросы?

- 1- Высокая производительность определяется как?
- 2- Что такое удельную производительность?
- 3- Рабочих пространствах печей разделяются на сколько части?
- 4- Увеличением давления в рабочем пространстве чего происходит?
- 5- В нагревательных печах с уходящими газами теряется, какой теплота?

ГЛАВА 4. ТУННЕЛЬНЫЕ И ШАХТНЫЕ ПЕЧИ.

4.1- Туннельная печь непрерывно действующий агрегат

При технологических процессах обжига строительных материалов: вяжущих материалов (цемента, извести), глиняного кирпича, огнеупоров (шамотных, магнезитовых, динасовых), фаянсовых, фарфоровых и др. Изделий материал нагревается до высоких температур, обеспечивающих процессы обжига, а затем охлаждается воздухом, так как эти материалы не подвержены окислению. Нагрев и охлаждение ведутся по определенному режиму в зависимости от рода изделий.

В данном случае можно осуществить полную регенерацию тепла как газов, отходящих из зоны горения (путем нагрева изделий, вяжущихся навстречу потоку газов), так и обожженных изделий (путем нагревания воздуха, идущего на сгорание и отбираемого на сторону). Температура уходящих из печи газов невысокая (150-250⁰С). Туннельная печь представляет непрерывно действующий агрегат не требующий особого регенеративного устройства в виде рекуператора или регенератора. Схема туннельной печи, показана на рис. 4.1 печь представляет собой длинный (до 80-120 метр) туннель, по которому движется поезд из вагонеток, нагруженных обрабатываемыми изделиями.

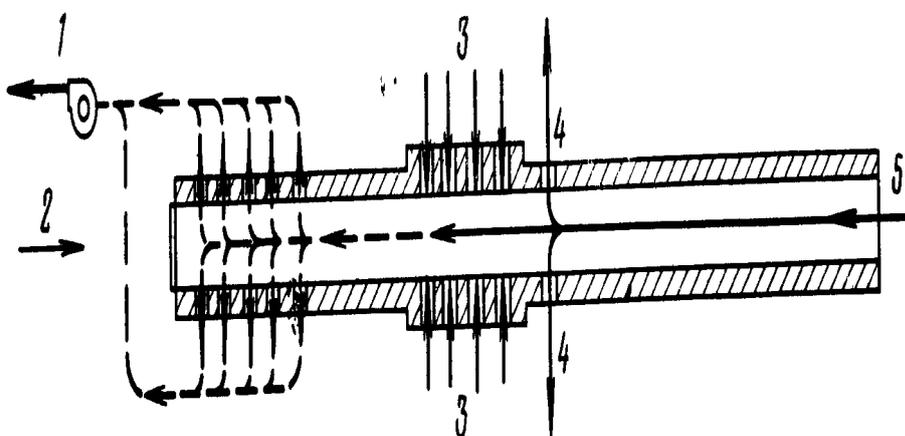


Рис: 4.1-Схема туннельной печи

1. продукты горения; 2. загрузка; 3 топливо; 4.избыток охлаждающего воздуха; 5 воздух для охлаждения.



Рис: 4.2. - Туннельной печь

4.2-Режим и работа Туннельных печей

Топливо сжигается в топках, причем необходимый для горения воздух поступает из зоны охлаждения, где он подогревается за счет тепло остывающих изделий. Продукты горения из топок поступают в рабочее пространство туннеля и движутся навстречу медленно перемещающимся изделиям, отдавая им тепло.

Степень использования тепла дымовых газов зависит от длины зоны подогрева и интенсивности теплоотдачи от газов к изделиям. Физическое тепло нагретых изделий используется для нагрева воздуха, причем чаще всего передача тепла от изделий к воздуху осуществляется путем непосредственного контакта, горячий воздух из зоны охлаждения идет в топку и для горения топлива, некоторая часть воздуха проходит непосредственно по туннелю в зону горения и, служит для дожигания еще не

сгоревших дымовых газов. Принципиальная схема туннельной печи удовлетворяет большинству требований, предъявляемых к лучшей тепловой схеме (высокая степень регенерации тепла обожженных изделий, достаточно глубокое охлаждение дымовых газов), и печь имеет расход топлива 1,5-2 раза меньший, чем периодически действующая камерная печь того же назначения. По такому же принципу, что и туннельная печь, работают кольцевые и многокамерные печи, применяемые и в силикатной промышленности.

4.3-Общая схема Шахтной печи

Рабочее пространство шахтной печи представляет собой шахту прямоугольного, круглого или овального сечения, заполненную шихтой, к шахтным печам относятся доменные печи для выплавки чугуна из железных руд, ватержакеты для выплавки медного или никелевого полуфабриката из руд, известково-обжигательные печи, печи для обжига различных огнеупорных материалов (шамота, магнезита, доломита), чугунолитейные вагранки и другие печи. По способу отопления шахтные печи разделяются на пересыпные и печи с выносными топками.

Типичным примером пересыпных печей является доменная печь, описанная ниже. Топливом для пересыпных печей является кокс (Доменные печи) или антрацит в других шахтных печах. Загрузка сырья и топлива производится слоями поочередно, причем крайне важно, чтобы сырье и топливо распределялись равномерно по сечению печи. Подъемник, необходимый для загрузки материала в печь, используется и для подачи топлива, в печах пересыпного типа в рабочем пространстве одновременно с прогревом материала идет процесс газификации топлива.

Этот процесс необходим в печах, в которых осуществляется восстановление веществ из окислов (например, восстановление железа из руды в доменных печах), и связан с наличием в колошниковых газах

горючих газов окиси углерода и водорода. Колошниковый газ доменных печей (доменный газ) после соответствующей очистки от пыли используется как топливо для печей и котлов; газы от чугунолитейных вагранок и других пересыпных печей получают с весьма малой теплотой сгорания и использовать их сложнее, но возможно. Выносными полугазовыми топками оборудуются печи для обжига вяжущих материалов и огнеупоров; в таких топках сжигаются топлива с большим выходом летучих веществ (торф, бурый уголь и пр.)

4.5-Схема движения газов печей

На рис. 4.2. показана шахтная печь для обжига доломита, порошок которого употребляется для наварки подов основных, мартеновских печей, а также для производства доломитного кирпича. Печь эта пересыпного типа, топливом является смесь кокса с антрацитом. Шахта имеет кожух, выполненный из толстого железа и футерованный шамотовым и магнезитовым кирпичом (магнезитовый кирпич внутри).

Материал и топливо подаются скиповым подъемником в загрузочный аппарат далее в рабочее пространство печи газы отводятся из шахты в атмосферу кусковой сырой доломит и топливо загружаются равномерными слоями, причем на три объема сырья расходуется один объем топлива температура обжига доломита составляет (1600, 1700° С) температура уходящих газов (250-300°С).

Воздух, необходимый для сгорания топлива, нагревается вентилятором под вращающуюся колосниковую решетку (служащую для механической разгрузки обожженного доломита), подогревается за счет тепла остывающего материала до 350- 400°С и вступает далее в зону наибольших температур. Дымовые газы движутся навстречу опускающемуся вниз материалу и отдают ему физическое тепло. Недостатком печи является значительная, потеря тепа с нагоревшими газами

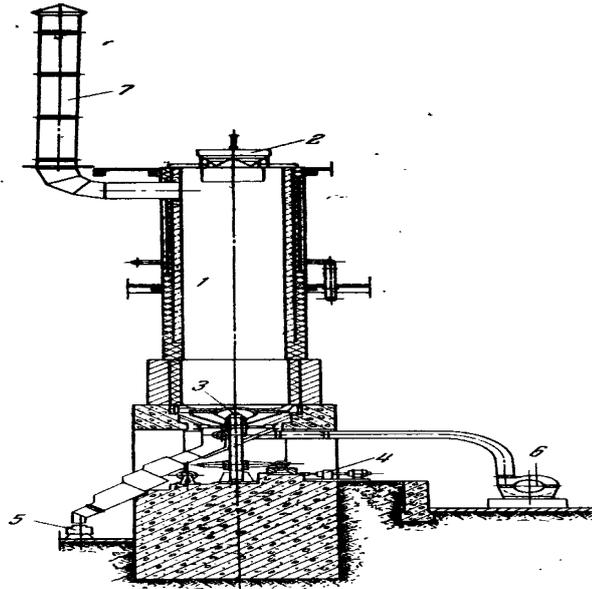


Рис. 4.2. Шахтная печь для обжига доломита.

1- рабочее пространство; 2- загрузочный аппарат; 3 - разгрузочное аппарат;
4-привод разгрузочного аппарата; 5- транспортер для обожженного
материала; 6- воздуходувка; 7- труба для отвода газов в атмосферу.

Примеры решения задач по теме

Задача 1. Закрытый электронагреватель имеет форму квадратной вертикальной пластины шириной и высотой $l \times l = 30 \times 30$ см. Температура поверхностей нагревателя $T_1 = +75^\circ\text{C}$, температура воздуха в помещении $T_2 = +25^\circ\text{C}$. Предполагая, что теплообмен с воздухом происходит за счет естественной конвекции, определить коэффициент теплообмена α и даваемый нагревателем тепловой поток Q . При определении числа Грасгофа воздух считать идеальным газом.

Решение. Для определения коэффициента теплообмена α найдем сначала число Нуссельта по эмпирической формуле (7.2.1):

$$Nu = B(Gr \cdot Pr)^n.$$

Число Прандтля Pr для воздуха - табличное значение, равное 0.71 (таблица 6.1), а число Грасгофа Gr вычислим по формуле (6.7.2), где в качестве характерного размера l возьмем высоту нагревателя. Используя табличное

значение для кинематической вязкости воздуха ν , равное $1.33 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ (таблица 6.1), получаем:

$$Gr = \frac{(T_1 - T_2) \cdot g \cdot l^3}{T \cdot \nu^2} = 2.6 \cdot 10^8.$$

Коэффициенты B и n находим по таблице 7.1 в строке "вертикальные поверхности". Т.к. произведение $Gr \cdot Pr$ находится в диапазоне $10^3 \dots 10^9$, то $B = 0.76$, $n = 1/4$. По формуле (7.2.1) вычисляем: $Nu = B(Gr \cdot Pr)^n = 88$. Коэффициент теплообмена связан с числом Нуссельта формулой (6.4.1):

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda},$$

где λ - коэффициент теплопроводности воздуха, равный $0.0242 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ (таблица 1.1). Таким образом, $\alpha = 7.1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Далее, по формуле (1.3.4) находим плотность теплового потока q , умножив которую на площадь обеих поверхностей нагревателя, получим тепловой поток:

$$Q = q \cdot S = \alpha(T_1 - T_2) \times 2l^2 = 64 \text{ Дж}/\text{с}.$$

Ответ: $\alpha = 7.1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $Q = 64 \text{ Дж}/\text{с}$.

Задача 2. Двухслойная стена здания высотой $h = 3 \text{ м}$ выполнена из кирпича толщиной 25 см и дерева толщиной 20 см . Рассчитать термическое сопротивление стены и плотность теплового потока через стену здания, предполагая, что теплообмен с воздухом происходит за счет естественной конвекции. Температура воздуха внутри здания $T_{01} = +20^\circ\text{C}$, а снаружи $T_{02} = 20-30^\circ\text{C}$. При определении числа Грасгофа воздух считать идеальным газом.

Решение. Термическое сопротивление найдем по формуле (2.1.19):

$$R_q = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2},$$

где число слоев $n = 2$, $L_1 = 0.25 \text{ м}$, $L_2 = 0.2 \text{ м}$, теплопроводность кирпича примем равной $\lambda_1 = 0.83 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, теплопроводность дерева $\lambda_2 = 0.12 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ (таблица 1.1). Коэффициенты теплообмена α_1 и α_2 найдем, определив числа Нуссельта по эмпирической формуле (7.2.1):

$$Nu = B(Gr \cdot Pr)^n.$$

Число Прандтля Pr для воздуха - табличное значение, равное 0.71 (таблица 6.1), а числа Грасгофа Gr вычислим по формуле (6.7.2):

$$Gr = \frac{(T_1 - T_2) \cdot g \cdot l^3}{T \cdot \nu^2},$$

где в качестве характерного размера l возьмем высоту стены h , а в качестве разности температур $(T_1 - T_2)$ в первом приближении возьмем $(T_{01} - T_{02})/2$. Кинематическая вязкость воздуха ν - табличное значение, равное $1.33 \cdot 10^{-5}$ м²/с (таблица 6.1). Из-за различия в температурах числа Грасгофа для воздуха внутри здания и снаружи получаются различными: $Gr_1 = 1.30 \cdot 10^{11}$ (внутри), $Gr_2 = 1.57 \cdot 10^{11}$ (снаружи). Коэффициенты B и n находим по таблице 7.1 в строке "вертикальные поверхности". Т.к. произведение $Gr \cdot Pr$ больше, чем 10^9 , то $B = 0.15$, $n = 1/3$. По формуле (7.2.1) вычисляем $Nu_1 = B(Gr_1 \cdot Pr)^n = 679$ (для теплообмена внутри здания), $Nu_2 = B(Gr_2 \cdot Pr)^n = 722$ (снаружи здания). Коэффициент теплообмена связан с числом Нуссельта формулой (6.4.1):

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda},$$

где λ - коэффициент теплопроводности *воздуха*, равный 0.0242 Вт/(м·К) (таблица 1.1). Таким образом, $\alpha_1 = 5.5$ Вт/(м²·К), и $\alpha_2 = 5.8$ Вт/(м²·К). Подставляя найденные значения в формулу (2.1.19), находим тепловое сопротивление стены здания:

$$R_q = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2} = 2.32 \text{ К} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}.$$

Плотность теплового потока через стену здания:

$$q = \frac{T_{01} - T_{02}}{R_q} = 21.6 \text{ Вт/м}^2.$$

Ответ: $R_q = 2.32 \text{ К} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$, $q = 21.6 \text{ Вт/м}^2$.

Контрольные вопросы

- 1-Какие строй материалы обжигается в Туннельные печей?
- 2-Сколко метров длина Туннельных печей?
- 3- Температура уходящих газов из Туннельных печи?

ГЛАВА 5. АБСТРАКТНЫЕ КИПЯЩИЕ СЛОИСТЫЕ ПЕЧИ. ВРАЩАЮЩИЕСЯ БАРАБАННЫЕ ПЕЧИ.

5.1-Режим и работа, абстрактные кипящие слоистые печи

Печи для обжига в кипящем слое печи с обжигом мелкозернистого материала применяются в металлургии (обжиг концентратов и др.) в химической промышленности (обжиг серного колчедана, суперфосфатов и др.) На рис. 5.1 показана печь для обжига измельченного известняка в кипящем слое на известь по реакции $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ печь имеет пять решетчатых сводов, прямооточное продуваемых потоком горячих газов от сжигания мазута и потокомсевдоожиженные воздуха в зоне охлаждения. горячий воздух из зоны охлаждения используется для сгорания топлива.

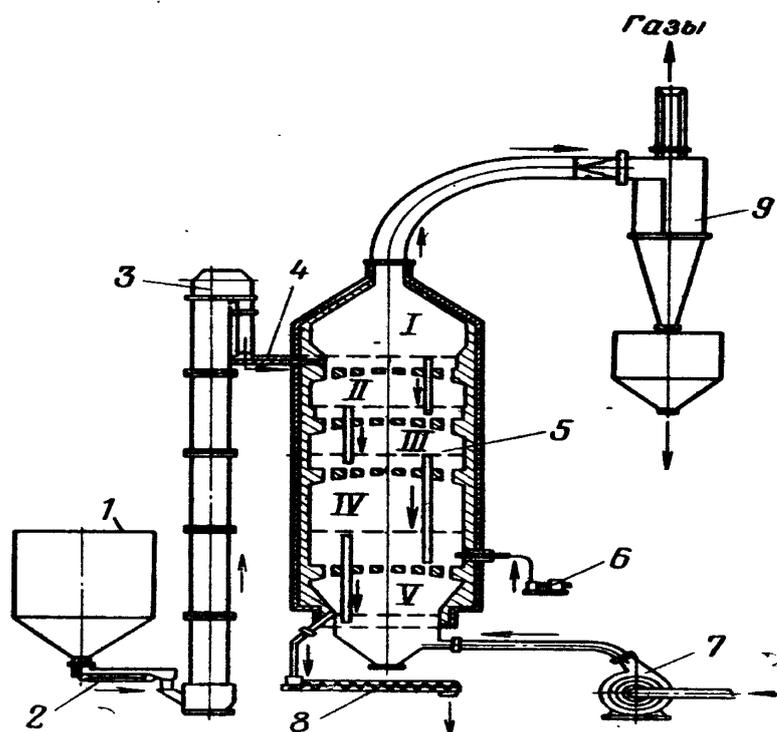


Рис.5.1: Печь для обжига извести в кипящем слое.

1-бункер для измельченного известняка; 2 -шнек; 3 - элеватор; 4 шнек;
5 - печь; 6-мазутный насос; 7- дутьевой вентилятор; 8-шнек выгрузки;
9 - циклов; I-III- зоны подготовки; IV- зона кальцинирования;
V- зона охлаждения.

5.2-Общий понятия абстрактные кипящие слоистые печи

Зернистый материал, находящийся в состоянии пия, перетекает с полки на полку через трубки. Благодаря интенсивному перемешиванию и большой турбулизации потока процесс теплопередачи идет очень интенсивно, и печь характеризуется высокой удельной производительностью: Недостатком кипящего слоя является истирание частиц, и запыление газов вследствие чего приходится прибегать к очистке, газов

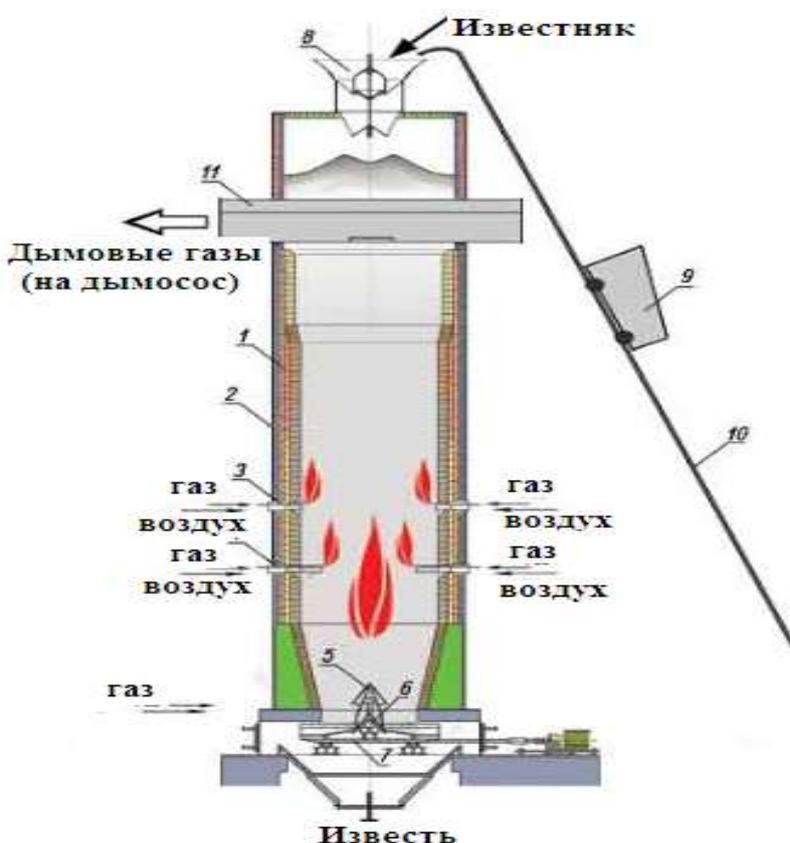


Рис.5.2- Печь обжига известняка с периферийными горелками

Предлагаемая печь обжига известняка с периферийными горелками представляет собой вертикальную одно шахтную печь с противотоком. Печь загружается сверху через систему бункеров и шиберов, которые гарантируют герметичность печи и равномерное распределение материала по всей территории шахтовой секции. Верхняя часть печи выполняет функцию предварительного прогрева и позволяет достичь лучшего теплообмена между топочными газами и известняком, сохраняя наибольшее количество тепла.

Средняя часть печи является зоной обжига. Она спроектирована таким образом, чтобы обеспечить равномерную кальцинацию материала, и включает в себя горелки расположенные на периферии вдоль стенки печи.

Новая конструкция горелок на боковой поверхности печи позволяет повысить эффективность зоны обжига. Специальный теплопроводящий масляный контур позволяет поддерживать температуру горелок на боковой поверхности в рамках заданных параметров, предотвращая перегрев.

Охлаждение обожжённой/кальцинированной извести происходит в нижней части печи. В этом типе печей воздух для охлаждения извести засасывается снизу печи и составляет большую часть топочного воздуха. Таким образом, вступив в контакт с обожжённой известью он предварительно нагревается, а температура извести снижается.

Известь выгружается с помощью электромагнитных вибраторов, которые сбрасывают ее в бункер-дозатор: таким образом, гарантируется однородный опускание материала во всех отделах шахты.

При эксплуатации в печи поддерживается отрицательное давление при помощи центробежного вентилятора, засасывающего топочные газы и диссоциированный углекислый газ. Фильтровальная установка топочного газа находится на выходе из печи. Она состоит из циклонной установки, размещенной перед главным печным вентилятором, чтобы удерживать более крупные твердые частицы, воздухо-воздушного теплообменника рукавного фильтра для удаления пыли из топочных газов и вентилятора на выходе.

Система рециркуляции отработанного газа предусмотрена для усиления контроля над процессом горения. Печь футерована износостойким огнеупорным материалом, что увеличивает ее срок службы и снижает потерю тепла. Структура огнеупорной футеровки упрощена, благодаря новой конструкции горелок на боковой поверхности, которые не мешают установкам камер горения. В зоне обжига используется основная футеровка, а в зонах предварительного нагрева и охлаждения глиноземистая и алюмосиликатная.

5.3-Виды вращающиеся барабанные печи

Вращающиеся печи уступают по экономическим показателям шахтным печам (капитальные и эксплуатационные затраты в 1,5-2 раза выше, чем в шахтных печах). Их применяют в тех случаях, когда для переработки используется мелкое (крупность 10-60 мм), загрязненное, неоднородное по свойствам и мало прочное сырье (мел, известняк, доломит и др.), а также когда требуется высокая единичная мощность обжигового агрегата (производительность 250-600 т/сутки).

Бесспорным преимуществом вращающихся печей является возможность получения извести со стабильным и высоким качеством (остаточный CO_2 в извести – менее 2 %). В зависимости от свойств исходного сырья используются длинные и короткие вращающиеся печи.

В длинных печах (длина 75...150 м) обжигают мало прочное и влажное карбонатное сырье, содержащее большое количество мелких фракций (10...60 мм). В коротких печах обжигают фракционированное сырье (крупность 15...50 мм). Короткие печи оборудуются выносными шахтными теплообменниками и имеют значительно меньший по сравнению с длинными печами расход топлива – 180...200 кг усл./т извести, против 250...320 кг усл./т извести. Показатели вращающейся печи во многом зависят от конструкций, оборудованных ею теплообменников и вспомогательных устройств (горелки, уплотнения, подогреватель известняка, охладитель извести и пр.) В Узбекистане наиболее распространены печи диаметром 3,6 м и длиной 75 м. Корпусы самих печей изготавливаются на специализированных механических заводах. Для очистки газов из вращающейся печи, как правило, применяются электрофильтры, которые обеспечивают остаточную запыленность 50...100 мг/м³. В последнее время вместо электрофильтров все чаще стали применять рукавные фильтры, обеспечивающие остаточную запыленность менее 20 мг/м³.

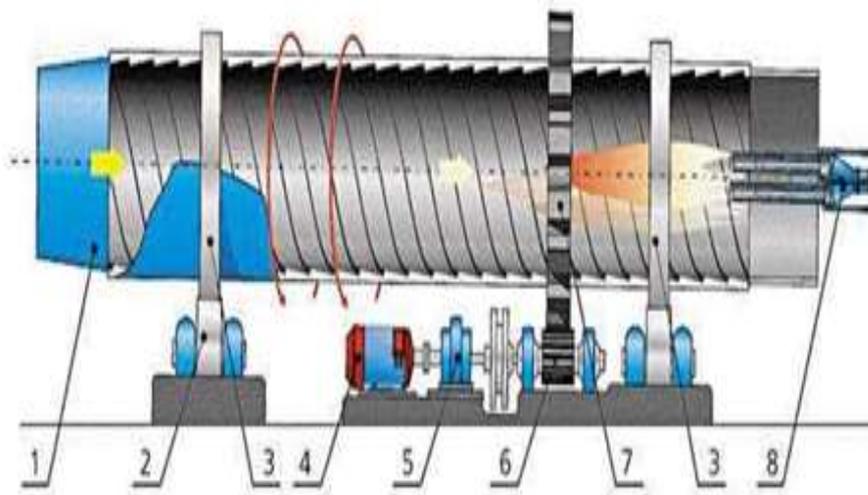


Рис. 5.3. Вращающиеся барабанные печь

1-Корпус; 2-опорная станция; 3-опорный бандаж; 4-двигатель; 5-редуктор; 6-приводная шестерня; 7-зубчатый венец; 8-горелочное устройства

5.4- Применение вращающихся печей

Вращающаяся печь, изображенная на рис.5.3 предназначена для обжига цементного клинкера. Она представляет собой стальной цилиндр, футерованный внутри (в зоне высоких температур) огнеупором, наклонные слегка и горизонту (уклон приблизительно 4 %) сырье поступает в верхний конец печи и движется, пересыпаясь, навстречу дымовым газам. На нижнем торце печи установлена дальнобойная (длинно факельная) горелка, у которой подается горячи воздух, нагретый в холодильнике за счет охлаждения обожженного клинкера.

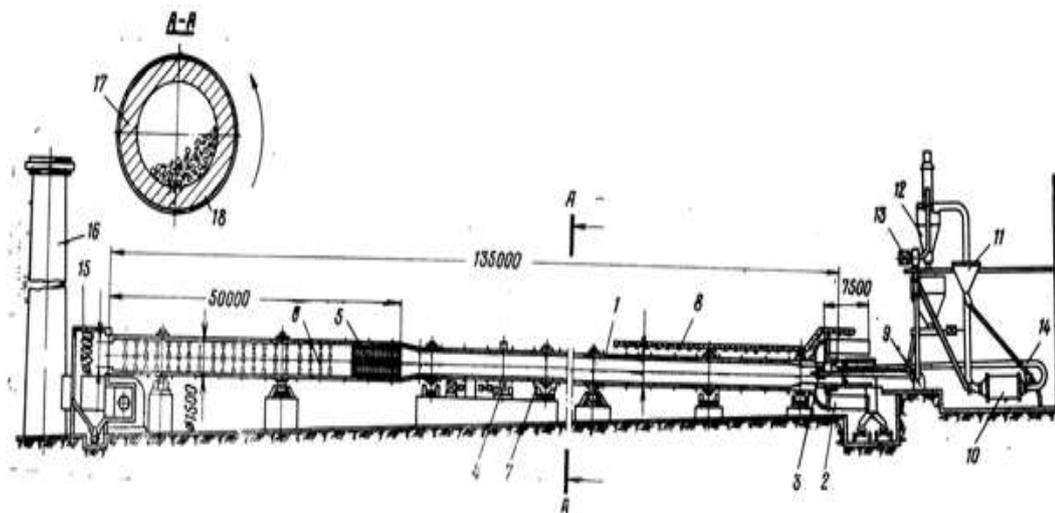


Рис: 5.4. Вращающаяся печь для цементного клинкера

1-печ; 2-холодильник; 3-горелка; 4-привод; 5-теплообменники; 6-цепная завеса; 7-узорные ролики; 8-трубы водяного охлаждения печи; 9-вентилятор; 10-шаровая мельница; 11-сепаратор; 12-циклон; 13-вентилятор; 14-трубопровод для отбора горячего воздуха из головки печи; 15-пылеосадательная камера; 16-дымовая труба; 17-стальное кожух; 18-футеровка;

Холодильник представляет собой ряд барабанов, связанных с печью, в которые поступает при вращении печи раскаленный клинкер, продуваемые воздухом при движении материала он сначала проходит зону подсушки, где температура газов снижается с 900 до 300° С а материал нагревается до 200 °с в зоне подогрева (температура 1 200-600° С) заметных химических реакции в материал не протекает. В зоне высоких температур (температур 1 500+ 1 200° С) материал нагревается до 1 000 ° С и в нем происходят дегидратация глины, диссоциация карбонатов и другие химические процессы.

За счет экзотермических реакций происходит образование силикатов и алюминатов кальция. Затем идет спекание (температур- 1 600 + 1 700 ° С) и, наконец, охлаждение материала в холодильнике. Высокое качество продукции и большая агрегатная мощность сделали вращающиеся печи основными агрегатами в производстве цемент а небольшие вращающиеся печи применяются для обжига ,керамзита ,(наполнитель бетона), а также обжига гипса, извести и других материалов.

Контрольные вопросы

- 1-Что обжигается абстрактные кипящие слоистые печи?
- 2- Недостатком кипящими слоеных печей?
- 3-Какого Материала построена вращающаяся печь?
- 4-Холодильник представляет собой сколки барабанов?

ГЛАВА 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ КАМЕРНЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ И ПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ.

6.1. Печи с передвижением деталей под действием силы тяжести.

Печи непрерывного действия приспособлены для обработки однотипных деталей. Применение печей непрерывного действия вызвано широким развитием массового поточного производства, когда целесообразно конструировать специализированные термические печи для обработки отдельных групп деталей.

При конструировании печей непрерывного действия возможно максимальное применение механизации и автоматизации. Механизация и автоматизация требуют больших капитальных затрат и расходов на текущие ремонты, но обеспечивают абсолютную надежность соблюдения назначенного технологического режима и сокращают расход топлива. Благодаря преимуществам, которые дают механизация и автоматизация, затраты на них при эксплуатации быстро окупаются.

Тепловой режим в печах непрерывного действия постоянен во времени, но температура может меняться по длине печи. По применяемому тепловому режиму печи непрерывного действия, как указывалось выше, могут быть прямоточными (температура в рабочем пространстве одинакова и на 30—50 °С превышает температуру нагреваемого металла), скоростного нагрева (температура печи на 150—200 °С выше температуры нагрева металла) с методическим и рекуперативным нагревом. Однако основным фактором, определяющим конструкцию термических печей непрерывного действия, является способ движения деталей по рабочему пространству.

Конструируя специальные устройства для перемещения деталей внутри печи (поддоны, конвейеры, специальные балки и т. п.), следует стремиться к максимальному снижению веса тары и транспортных приспособлений на единицу нагреваемых деталей. Вес конструкции можно

значительно снизить созданием облегченных деталей с ребрами жесткости, использованием облегченных транспортирующих устройств с применением направляющих и т. п. Сокращение расхода жаростойких сталей достигается путем применения футеровки балок, роликов и т. п. керамическими материалами.

Под действием силы тяжести могут передвигаться только детали правильной цилиндрической формы — валы, трубы и т. п. Для сообщения деталям движения необходимо поду печи придать уклон в сторону движения деталей. Величина уклона обычно составляет 6° С — 10° С. Для облегчения движения деталей в поду печи прокладываются металлические направляющие, которые при работе на высоких температурах делаются из труб, охлаждаемых водой. Такие печи могут работать на любом топливе. На рисунке 6.1 приведена двухзонная печь с наклонным подом и боковой выдачей деталей.

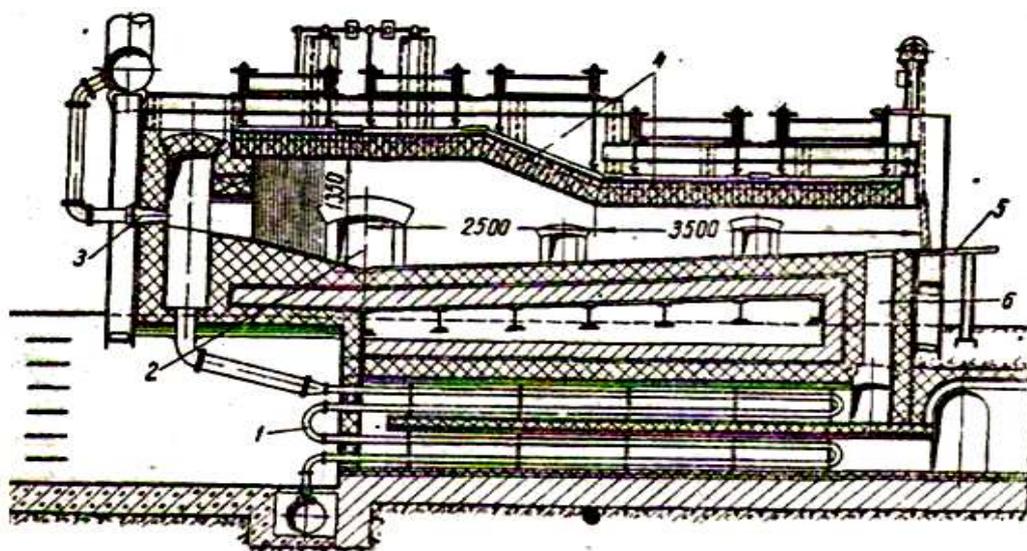


Рис: 6.1. Двухзонная газовая методическая печь с наклонным подом и боковой выдачей изделий

6.2. Печи с передвижением деталей толкателем.

Печь используется для нагрева труб и валов длиной до 6 м. Печь отапливается газом, который сжигается в горелках 3, расположенных с торца печи. Продукты горения поступают в боры 6 с трубчатым рекуператором 1,

служащим для подогрева воздуха. Детали загружаются на выступающие из печи направляющие 5 и движутся самокатом до упора. Выдача деталей производится выталкивателем через отверстие 2 в боковой стене. Вследствие большой ширины печи, изображенной на рисунке 4.1, свод 4 ее сделан подвесным. Такая печь при длине 6,0 м и ширине 8,0 м имеет производительность до 5 т/час. При небольшой ширине печи свод следует делать стационарным, а горелки располагать на боковых стенках. Это сильно упрощает конструкцию печи.

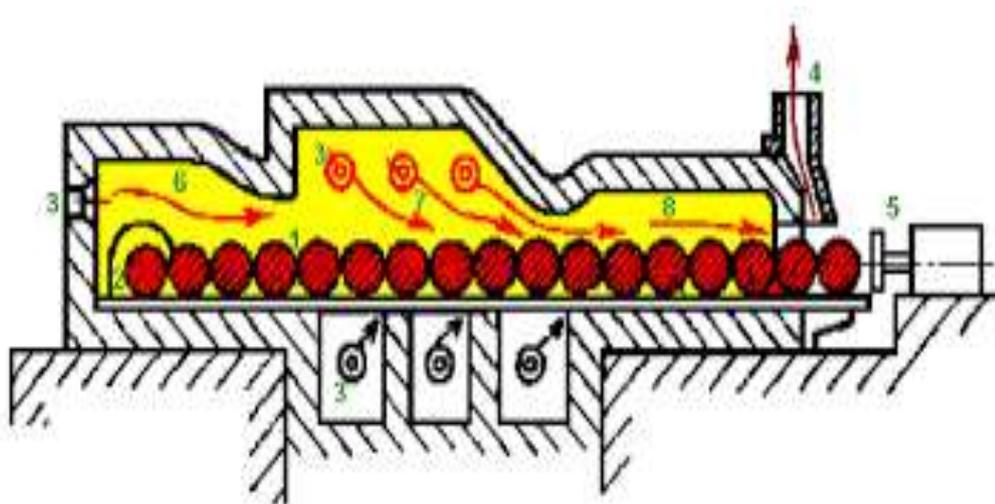


Рис.:6.2. Трехзонная газовая методическая печь с наклонным подом и торцовой выдачей изделий

На рисунке 6.2 изображена конструкция методической трехзонной печи с наклонным подом и торцовой выдачей деталей. Печь отапливается газовыми горелками, расположенными в камерах выдержки и нагрева. Отдел продуктов горения производится через ряд щелей у загрузочной стороны печи в два самостоятельно регулируемых бора. Движение деталей совершается по направляющим, расположенным на огнеупорных столбиках. В поду камеры выдержки имеются щели, в которых ходят вертикальные выдающие штанги, приводимые в движение пневматическими цилиндрами. Выдачу деталей небольшого веса можно осуществить ножным педальным механизмом. Выдающий механизм можно сделать в виде ряда четырех-шести звездочек, насаженных на поперечный вращающийся вал (рисунок 4.3). При

ширине печи 6 м, длине камер нагрева 4 м, подогрева 3 м и выдержки 3,5 м печь имеет производительность до 7,5 т/час. На рисунке 6,3 приведены два варианта конструкции электрической двухъярусной печи с наклонным подом для нагрева круглых слитков.

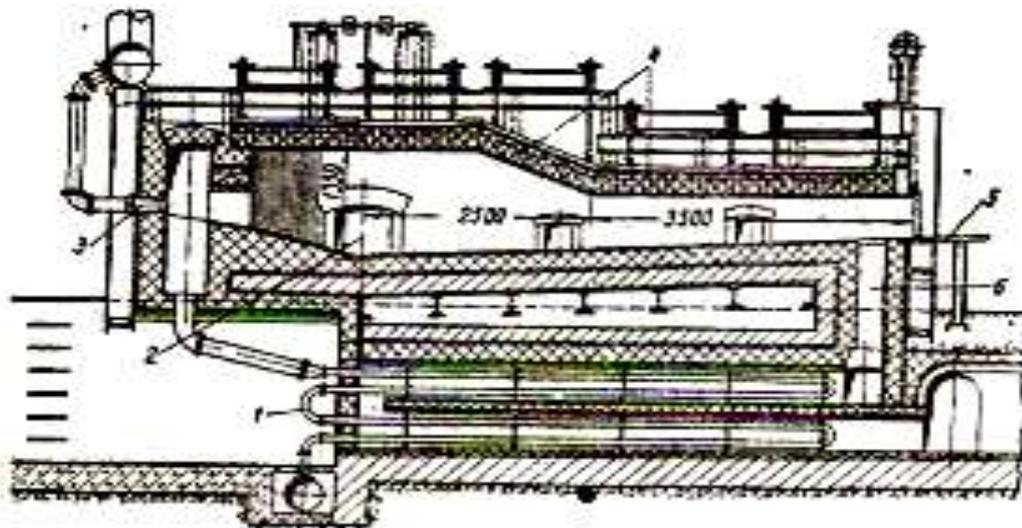


Рис.6.3. Двухъярусная электрическая печь с наклонным подом и принудительной циркуляцией воздуха

а – с калориферами, вынесенными в верхнюю камеру;

б - с рамными нагревателями, расположенными в рабочих камерах

Для повышения коэффициента теплопередачи конвекцией принято движение нагретого воздуха центробежным вентилятором 1, расположенным вверху у загрузочного конца печи. В первом варианте печи (рисунок 6.3, а), применяемой на низкие температуры, нагрев производится калориферами 2, размещенными в верхней выносной камере. Вентилятор через каналы 7 в боковых стенках отсасывает воздух из первого и второго яруса лета и гонит его через калориферы и распределительные боковые каналы 3 обратно в печь. Для получения равномерного нагрева чрезвычайно важно иметь правильное распределение нагретого воздуха между верхним и нижним ярусами печи. Загрузка слитков в любой ярус печи производится подъемником 6 со специальным сталкивающим приспособлением, а выдача слитков — при помощи трех секторов 5, насаженных на поперечный, периодически вращающийся вал 4.

6.3. Конвейерные печи;

Во втором варианте конструкции печи нагрев осуществляется при помощи рамных нагревательных элементов 2, размещенных непосредственно в каждой рабочей камере. Это позволяет наряду с конвекцией использовать теплопередачу лучеиспусканием и обеспечить хорошую работу печи как при низкой, так и при повышенной температуре. Воздух отсасывается вентилятором 1 из верхнего яруса печи и через боковые каналы 4 направляется в нижний ярус. Движение воздуха совершается со скоростями в рабочем пространстве 8—10 м/сек. Печь при внутренних размерах каждого яруса 15X1,2X0,75 м имеет общую мощность 900 кВт и производительность при нагреве дюралюминиевых цилиндров диаметром 0,3 м до температуры 500°С около 3 т/час. В боковых стенках печи имеются окна 3 для кантования деталей и текущего ремонта сечи.

Печи с передвижением деталей толкателем, которые в дальнейшем будут называться толкательными, имеют горизонтальной под, движение деталей по которому осуществляется давлением башмака толкателя. Наиболее распространено толкание деталей по боковой поверхности, так называемое боковое толкание. Для уменьшения силы трения устраивают металлические направляющие в виде брусьев, труб или литых швеллеров с роликами. Непосредственное проталкивание возможно лишь для деталей сравнительно простой формы — параллелепипед, цилиндр, пластина. При небольшой толщине круглой и квадратной заготовки сделать печь с боковым толканием на большую длину не представляется возможным вследствие «взгорбливания» деталей.

Чем больше усилие толкателя и меньше сечение заготовки, тем в большей степени проявляется это явление. Приближенно можно считать, что предельная длина печи l в зависимости от размера заготовки при боковом толкании на горизонтальном поду равна:

-при движении по брусьям: $l = (170-200) \times \text{толщина заготовки, м};$

-при движении по трубам: $l = (200-240) \times \text{толщина заготовки, м.}$

Увеличить длину печи можно применением роликовых направляющих при очень малом диаметре заготовки выгоднее применять толкание деталей в торец по нескольким параллельным ручьям, сделанным в специальной жаростойкой плите или образованных квадратными брусками, поставленными на ребро. Если форма деталей совсем не позволяет осуществить непосредственное проталкивание, следует применять передвижение деталей на поддонах.

Однако практика показывает, что для некоторых сложных деталей, например, для коленчатых валов трактора, можно применять непосредственное проталкивание, если детали укладывают на специальные подкладки. Поддоны для укладки деталей должны быть облегченной конструкции. Для длинных деталей сложной формы вместо сплошного поддона применяются отдельные опоры в виде колодок или крестовин, передвигающихся по литым направляющим корытообразного сечения, вделанным в подь печи (рисунок 6.4, г). Усилие толкания будет значительно меньше, если для движения поддонов использовать направляющие с роликами.

6.4. Туннельные и роликовые печи.

Наиболее распространенными толкательными печами на пламенном топливе являются прямоточные печи с нижними топками и шахматным расположением горелок или форсунок. Топки размещаются равномерно по всей длине рабочего пространства, благодаря чему температура в печи примерно одинакова. На рисунке 6.4, а приведена типовая толкательная закалочная печь на газовом или жидком топливе. Печь имеет пять нижних топок шириной по 650 мм с подводом горелок в шахматном порядке.

В печи создается пять поперечных кольцевых потоков горячих газов, способствующих быстрому и равномерному нагреву деталей. Вследствие

разряжения, создаваемого горелкой, продукты горения подсасываются в топку, увеличивая количество циркулирующих газов.

Продвижение деталей производится на поддонах рычажным толкателем по трем направляющим с роликами. Концы этих направляющих обрываются у разгрузочного желоба, а для цапф поддона устроены новые направляющие (рисунок 6.4, в). Поддон, дойдя до разгрузочного желоба, теряет под собой опору, поворачивается на цапфах, сбрасывая детали в желоб, а сам принимает вертикальное положение. Поддоны периодически вынимаются из печи через разгрузочную дверцу. Возможен вариант разгрузочного желоба с двумя рукавами, из которых нижний служит для направления в бак деталей, а верхний — для разгрузки поддонов (рисунок 6.4, б). Желоб для разгрузки поддонов закрывается крышкой, открывающейся под действием веса поддона. Желоб, направляющий детали, для создания герметичности опускается в закалочную жидкость. Толкательные прямооточные печи с нижним толкателем могут быть спроектированы и на твердом топливе.

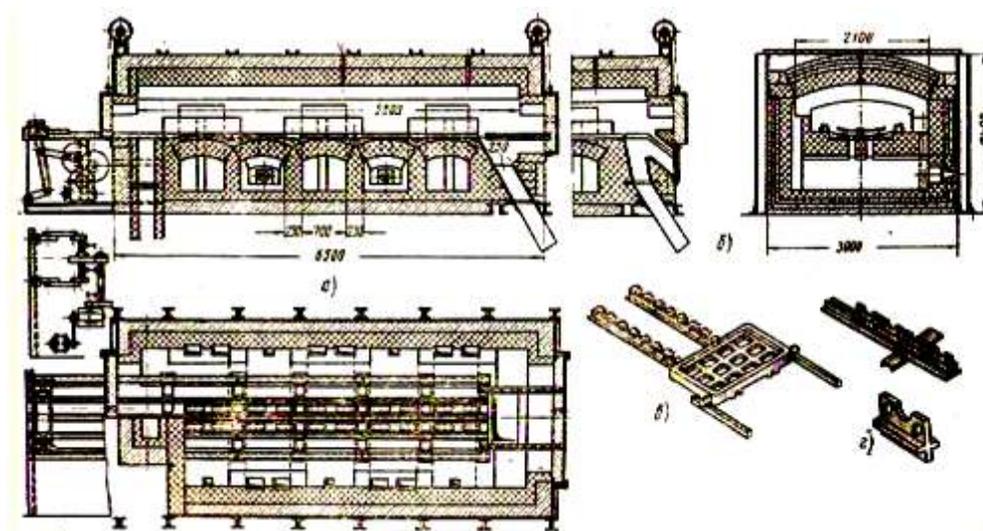


Рис.6.4. Прямоточная толкательная печь с нижними топками

- а – типовая конструкция печи;
- б – вариант разгрузочного желоба с двумя рукавами;
- в – устройство для опрокидывания поддонов;
- г – крестовина для движения длинных деталей

6.5. Барабанные и протяжные печи.

В печах на низкие температуры желательное повышение скорости движения газов вентиляторами. Толкательную печь на жидком или газовом топливе с принудительной циркуляцией можно осуществить по типу камерной, устроив боковую выдачу деталей. На рисунке 6.4 приведены две конструкции толкательной методической печи с принудительной циркуляцией на газовом отоплении и с электрическим нагревом. Печь с газовым отоплением (рисунок 6.4,) имеет в середине две верхних топки, причем сгорание газа осуществляется в жаростойких трубах 1 с торцовыми горелками. Трубы имеют отверстия по ходу газов. Циркуляция газов совершается осевыми вентиляторами 2, установленными в стенках верхних топок. Обводные каналы 3 для возврата циркулирующих газов осуществлены в виде щели между стенками двойного свода печи. Благодаря наличию двух самостоятельных топок печь может работать с различными температурными режимами со стороны загрузки и выгрузки. При большой ширине печи и наличии подвесного свода данная конструкция может быть осуществлена с применением нижних топок. В этом случае топки могут быть выполнены в виде отдельных каналов, перекрытых рядом сводников, причем в каждом канале устанавливается свой вентилятор.

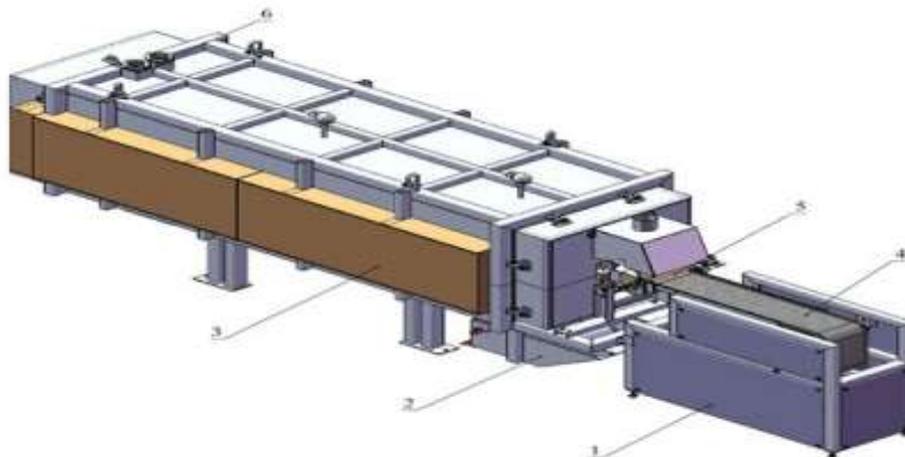


Рис. 6.5 - Электрическая толкательная печь на низких температурах нагрева с принудительной циркуляцией воздуха

1-Механизм перемещения конвейерной ленты:

2-Бак охлаждения конвейерной ленты:

3-Корпус печи:

4- конвейерная лента:

5-Механизм дожди отработанных газов:

6-Подвод газа к реторте

В электрической печи (рисунок 6.5.) 1-нагрев производится конвейерной ленты в верхних камерах. Воздух центробежными вентиляторами 2 -отсасывается из рабочего пространства и гонится через калориферы в печь. Через боковые каналы 3- горячий воздух частично направляется под детали. Для ускорения нагрева целесообразно в первой половине печи ввести дополнительные нагревательные элементы в под печи. Печь при размерах рабочего пространства 11х0.6х0,6 м и нагреве под закалку профилей из алюминиевых сплавов до температуры 520°C имеет мощность 240 кВт и производительность до 0,7 т/час при времени нагрева 12—15 мин.

Примеры решения задач по теме

Задача 1. Оценить потери тепла (на 1 метр длины) в воздухе за счет естественной конвекции горизонтальным трубопроводом теплотрассы диаметром $d = 0.3\text{м}$, если температура трубопровода $T_1 = 90^\circ\text{C}$, а температура окружающего воздуха $T_2 = 5^\circ\text{C}$. При определении числа Грасгофа воздух считать идеальным газом.*Решение.* Потери тепла определим по формуле $Q = qS$, где $S = \pi d \cdot 1\text{м}$ - площадь боковой поверхности одного метра трубы. Плотность теплового потока q вычислим по формуле (1.3.4):

$q = \alpha(T_1 - T_2)$, где коэффициент теплообмена α найдем, определив число Нуссельта по формуле (7.2.1):

$Nu = B(Gr \cdot Pr)^n$. Число Прандтля Pr для воздуха - табличное значение, равное 0.71 (таблица 6.1), а число Грасгофа Gr вычислим по формуле (6.7.1), где в качестве характерного размера l возьмем диаметр трубы. Кинематическая вязкость воздуха ν известна, она равна $1.33 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ (таблица 6.1), поэтому:

$Gr = \frac{(T_1 - T_2) \cdot g \cdot l^3}{T \cdot \nu^2} = 4.7 \cdot 10^8$. Коэффициенты B и n находим по таблице 7.1 в строке "горизонтальные трубы". Т.к. произведение $Gr \cdot Pr$ больше 10^7 , то $B = 0.135$, $n = 1/3$. По формуле (7.2.1) вычисляем: $Nu = B(Gr \cdot Pr)^n = 94$. Коэффициент теплообмена связан с числом Нуссельта формулой (6.4.1):

$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$, где λ - коэффициент теплопроводности воздуха, равный 0.0242 Вт/(м·К) (таблица 1.1). Таким образом, $\alpha = 7.6$ Вт/(м²·К). Далее, по формуле (1.3.4) находим плотность теплового потока q , умножив которую на площадь боковой поверхности, получим тепловой поток:

$$Q = q \cdot S = \alpha(T_1 - T_2) \times \pi d l = 608 \text{ Вт/м.}$$

Ответ: $\alpha = 7.6$ Вт/(м²·К), $Q = 608$ Вт/м.

Задача 2. Стальной горизонтальный трубопровод теплотрассы (наружный диаметр 0,3 м, толщина стенки 5 мм) нужно изолировать стекловатой так, чтобы потери тепла были не более $q_L = 50$ Вт на 1 м длины трубопровода. Температура теплоносителя (воды в трубопроводе) $T_{01} = 90^\circ\text{C}$, температура окружающего воздуха $T_{02} = 5^\circ\text{C}$, коэффициенты теплопроводности стали и стекловаты соответственно $\lambda_1 = 59$ Вт/(м·К) и $\lambda_2 = 0.07$ Вт/(м·К). Определить необходимую толщину теплоизоляционного слоя.

Решение. Воспользуемся формулой (2.2.13)

$q_L = \frac{T_1 - T_{n+1}}{R_q}$ для вычисления необходимого термического сопротивления

теплоизоляционного слоя. В данной задаче $T_1 = T_{01}$, $T_{n+1} = T_{02}$, поэтому

$$R_q = \frac{T_{01} - T_{02}}{q_L} = 1.7 \text{ К}\cdot\text{м/Вт.}$$

(размерность указана с учетом того, что вычисления выполняются для единицы длины трубопровода). В данной задаче имеется два слоя: стальная стенка трубопровода и слой теплоизоляции, поэтому формула (2.2.14), определяющая термическое сопротивление многослойной цилиндрической стенки, может быть записана в виде:

$R_q = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{R_3}{R_2} \right)$, где R_1 и R_2 - внутренний и наружный радиусы трубопровода (известны из условия задачи), R_3 - наружный радиус теплоизоляционного слоя (см. рисунок). Выражаем из этой формулы R_3 :

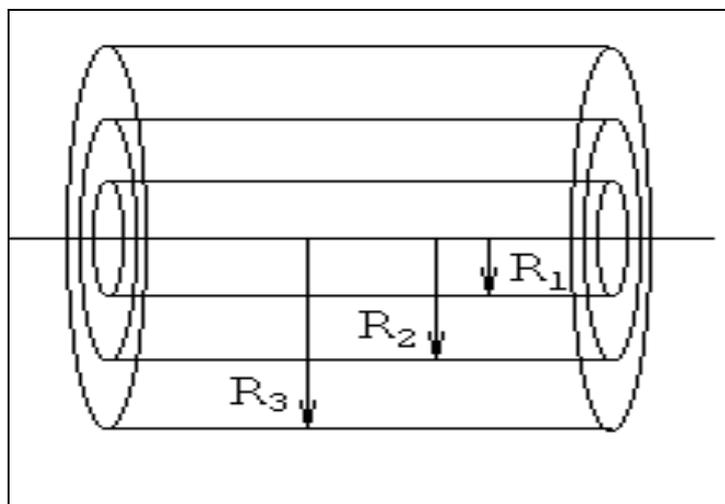


Рис. 6.6 Наружный радиус теплоизоляционного слоя

$R_3 = R_2 \exp\left(2\pi\lambda_2 R_q - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \ln \frac{R_2}{R_1}\right) = 0.32\text{м}$. Легко видеть, что в данной задаче термическое сопротивление стенки трубы пренебрежимо мало по сравнению с термическим сопротивлением теплоизоляционного слоя, поэтому радиус R_3 можно вычислить по более простой формуле $R_3 = R_2 \exp(2\pi\lambda_2 R_q)$. Однако в других задачах термические сопротивления слоев могут быть одного порядка, поэтому в качестве иллюстрации здесь приведена точная формула.

Ответ: Толщина теплоизоляционного слоя 0,17 м.

Контрольные вопросы

1. Циркуляция газов совершается, какой установки?
2. Изучить конструкцию и принцип работы печей с передвижением деталей под действием силы тяжести?
3. Изучить конструкцию и принцип работы печей с передвижением деталей толкателем?
4. Схемы изучить конструкцию и принцип работы конвейерных печей?

ГЛАВА 7. МЕТАЛЛАПЛАВЯЮЩИЕ МАРТЕНОВСКИЕ ПЕЧИ. ВОСПАЛИТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ.

7.1. Конструкция и работа мартеновской печи

В середине XIX столетия остро возникла необходимость переработки металлического лома в больших объемах. Конвертерным процессом эту задачу не удавалось решить в полном объеме.

Над этой проблемой долгое время (1840-1863 г.) работали Пьер и Эмиль Мартены путем сплавления чугуна и железного лома на поду в отражательных (пудлинговых) печах. Однако, положительных результатов достичь не удавалось, так как в процессе экспериментов не достиг с ниже, чем необходимая температура для перевода расплавляемого металла в жидкое состояние. °С, что на 60-80°градус температура, необходимая для расплавления металла. Это объяснялось тем, что для сжигания топлива подавался холодный воздух, и температура в рабочем пространстве печи не превышала 1420-1460

Первая успешно действовавшая регенеративная печь была построена Пьером Мартеном на заводе его отца Эмиля Мартена в сирене в 1864 г. по чертежу В.Сименса. Эта печь имела основные элементы современной мартеновской печи. Печь была выложена диносовым кирпичом, а для пода использовали кварцевый песок. Так как эти материалы являются кислыми огнеупорами, то в этих печах сталь выплавляли кислым процессом, при котором нельзя удалять вредные примеси: фосфор и серу.

Для отопления печи П.Мартен применил газообразное топливо в смеси с воздухом, которое подогревалось в регенераторе. Плавки вели следующим образом: на поверхность прогретого пода загружали чугун, после расплавления, которого в печь частями загружали железные крицы, стальной лом. Эти материалы постепенно расплавлялись в жидком чугуне, понижали содержание углерода. В конце плавки в металл вводили марганцовистый

чугун для раскисления, и металл выпускали в ковш. В первых мартеновских печах выплавляли, преимущественно, стали с высоким содержанием углерода.

Мартеновская печь – это сталеплавильный агрегат, в котором процесс выплавки стали протекает на поду с активным участием атмосферы рабочего пространства.

7.2. Конструкция мартеновской печи

Печь относится к типу пламенных, отражательных, регенеративных печей реверсивного действия с использованием жидкого и газообразного топлива. Мартеновская печь имеет симметричную конструкцию и состоит из верхнего и нижнего строений.

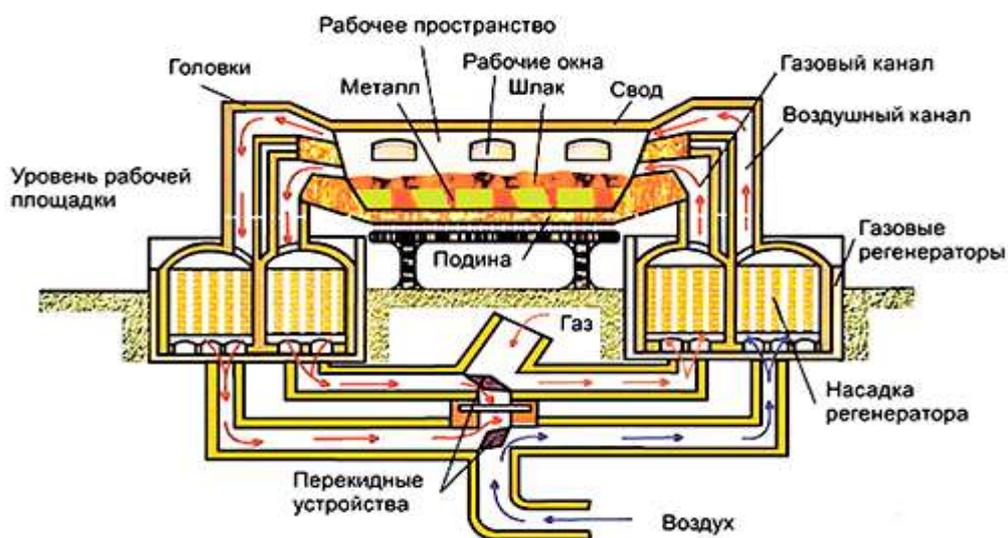


Рис.7.1. Мартеновская печь

Верхнее строение печи, расположенное над рабочей площадкой цеха, состоит из рабочего пространства 12, головок 1 и вертикальных каналов 2.

Нижнее строение печи расположено под рабочей площадкой цеха и состоит из шлаковиков 3, предназначенных для отделения от дымовых газов частичек, уносимых ими из плавильного пространства шлака и пыли, регенеративных камер 5 и боровов 4 с перекидными клапанами. В

регенераторах осуществляется подогрев воздуха и газа до поступления в плавильное пространство. Тепло для их нагрева отдают дымовые газы, периодически проходящие через регенераторы. Направление движения дымовых газов, воздуха и топлива регулируется поочередным открытием тех или иных перекидных клапанов.

Из регенераторов дымовые газы направляются по боровам через котел-утилизатор и дымоочистку в дымовую трубу. По истечении определенного промежутка времени (15-20 мин) после нагрева насадок левого регенератора и соответствующего охлаждения насадок правого регенератора производится изменение направления движения воздуха на обратное при помощи перекидных клапанов. Проступают в каналы противоположной левой головки, затем в вертикальные каналы, в шлаковщик и регенераторы (с температурой 1500-1550 °С. Продукты сгорания (дым) с температурой 1650-1700 °С. В рабочем пространстве печи происходит смешение топлива с воздухом и сгорание его с образованием факела пламени, имеющего температуру 1800-1900 °С. Печь работает следующим образом. Воздух, проходя через соответствующие клапана, каналы нагревается в регенераторе до температуры 1100⁰ С-1200⁰ С

7.3. Классификация конструкций мартеновской печи

Мартеновские печи подразделяются:

- стационарные;
- качающиеся.

Стационарные печи имеют ванну, смонтированную в неподвижной металлической арматуре печи. Качающиеся печи имеют ванну, которая поворачивается относительно продольной оси на определенный угол с целью периодического удаления шлака из рабочего пространства.

В зависимости от материала футеровки подины печи подразделяются:

- основные;

- кислые.

Основные – позволяют перерабатывать шихту с высоким содержанием фосфора и серы. Огнеупорный материал подины – магнезит или смесь магнезита с доломитом.

Кислые – применяются для выплавки высококачественных сталей и рядовых сталей при отсутствии в шихте фосфора и серы.

Огнеупорный материал подины – динас или кварц.

Мартеновские печи подразделяются:

- однованновые;

- двухванновые.

7.4. Теплотехнические основы работы мартеновской печи

Температуру $^{\circ}\text{C}$ металл может быть нагрет до этой температуры, если продукты сгорания факела имеет еще более высокую (на $100-150^{\circ}$ Для получения стали в жидком состоянии выпуска из печи и разливки, ее необходимо нагреть до температуры $1600-1650^{\circ}\text{C}$ т.е. $1750 - 1800^{\circ}\text{C}$

Для достижения практической температуры продуктов сгорания факела $^{\circ}\text{C}$ учетом потери тепла в окружающую среду, степени диссоциации продуктов горения, теоретическая температура (калориметрическая) горения должна быть $^{\circ}=1750 - 1800$, где $k = 0,75$. Это пирометрический коэффициент, зависящий от отдачи тепла нагреваемым предметом, потерь тепла в окружающую среду и от степени диссоциации продуктов горения. $\text{C}^{\circ}\text{t} = 2350\text{C}.$ Однако, как показывают результаты расчетов, приведенные в табл. 1, ни один вид топлива при сжигании его в холодном воздухе не обеспечивает этой минимальной величины. В связи с этим для осуществления сталеплавильного процесса в мартеновской печи необходим дополнительный источник тепла, который позволил бы достичь температуру 2350°C

7.5. Топливо мартеновских печей

Калориметрическая температура горения топлива

Таблица 6.1

Топливо	Теплопроводная способность, Q_m , кДж/м ³ с (кг) (средняя)	Калориметрическая температура, t_m , С°	
		холодный воздух	С°нагретый воздух до 1100
Коксовый газ	17500	2100	2610
Доменный газ	3800	1400	2250
Мазут	39700	2140	2650
Природный газ	35200	2030	2550

Калориметрическую температуру горения топлива в мартеновской печи можно определить по формуле:

где - теплотворная способность топлива, кДж/м³(кг); - физическое тепло нагретого воздуха, кДж/м³; V - объем отдельных составляющих продуктов сгорания, м³; - соответствующие средние теплоемкости продуктов сгорания.

С°, что является достаточной величиной для достижения необходимого значения калориметрической температуры факела. Следовательно, источником дополнительного тепла является физическое тепло предварительно нагретого воздуха. По условиям службы огнеупоров в регенеративных насадках максимально возможная температура подогрева воздуха в среднем составляет 1000-1200

Таким образом, главной теплотехнической основой работы мартеновской печи является необходимость предварительного нагрева воздуха путем реализации принципа регенерации тепла.

1-Требования, предъявляемый к топливу мартеновских печей

Топливо должно отвечать требованиям:

- обладать высокой теплотворной способностью;
- обеспечивать высокую излучательную способность;
- содержать минимальное количество вредных примесей (сера, вода);
- быть дешевым, транспортабельным и технологичным.

В настоящее время применяется мазут и природный газ, коксовый и доменный газы. Технология плавки стали в мартеновских печах имеет ряд особенностей:

1. Окислительный характер газовой фазы печи. Через рабочее пространство мартеновской печи над ванной проходит огромное количество газа. Например, на 1 т стали в 500-тонной печи расходуется 250000 м³ горючего газа, а на 1 м³ газа расходуется 2 м³ воздуха и образуется ~ 3 м³ продуктов сгорания. Следовательно, за плавку через рабочее пространство печи пройдет $250000 \cdot 3 = 750000$ м³ продуктов сгорания. Если учесть расширение газов при нагреве (до 1700 °С примерно в семь раз), то можно представить, с какой скоростью печные газы проносятся над ванной.

Газы имеют в своем составе углеродсодержащие и водородсодержащие соединения (СО, различные углеводороды, сажистые частички углерода, некоторое количество СО₂, а также и О₂, так как воздух для горения подают с избытком). При горении углерод и водородсодержащих соединений образуются СО₂ и Н₂О. Следовательно, продукты сгорания любого топлива содержат кислород, окислительные газы СО₂ и Н₂О и некоторое количество азота N₂. Таким образом, характер атмосферы мартеновской печи во все периоды плавки окислительный. За плавку ванна поглощает 1—3 % кислорода от массы металла. Этот кислород расходуется в основном на окисление примесей, часть его расходуется на окисление железа.

2. Тепло к ванне поступает сверху, поэтому температура шлака выше, чем металла, и по глубине ванны имеет место различие температур металла. Толщина шлака в мартеновских печах колеблется в пределах от 50 до 500 мм,

глубина ванны металла — от 500 до 1500 мм. Выравниванию температуры по глубине ванны способствуют пузыри CO_2 .

3. Участие пода печи в протекающих процессах.

4. Жидкий металл все время находится под слоем шлака (шлак примерно вдвое легче металла). Практически все вводимые в печь добавки попадают на шлак или проходят в металл через шлак. Кислород из атмосферы печи в металл переходит также через шлак. Шлак играет основную роль в мартеновском процессе.

В мартеновской плавке различаются следующие периоды:

- заправка печи (горячий ремонт рабочего пространства);
- завалка и прогрева шихты (состоит из нескольких периодов в зависимости от вместительности печи, и разделяются на завалку сыпучих (завалка рудой, потом части известняка, снова рудой, завалка стального лома);
- заливка жидкого чугуна (в скрап - руда процессии);
- плавление;
- доводка металла;
- выпуск;
- раскисления (в печи или в ковше);
- легирование (в печи или в ковше).

Заправка печи преследует цель поддержки в рабочем состоянии всех элементов плавильного пространства. Для этого в момент выпуска на под и стенки, по мере их освобождения от шлаках, заправочной машиной забрасывают огнеупорные материалы (дробленый обожженный доломит, магнезитовый порошок и др.) После выпуска из печи металла и шлакам под тщательно осматривают и, если надо, исправляют подмеченные неровности (бугры, ямы). Продолжительности заправки 10 15 мин., который достигается путем объединения с другими периодами плавки.

Завалка шихты осуществляется завалочной машиной. Все твердые шихтовые материалы подаются в печь в специальных коробах - мульдах

(вместительностью до 3,3 м³. Мульды подаются в составе 7 12 тележек по 4 на каждой. Продолжительность завалки в зависимости от вместительности печи колеблется от 1 до 3 часа. Она определяется числом мульд, которое зависит от насыпной плотности материалов.

Через малую теплопроводность сыпучих материалов целесообразно производить завалку слоями небольшой толщины с промежуточным прогреванием и перемешиванием по схеме: руда - известняк - руда - известняк - остаток руды. Стальной лом: легкий, средний, тяжелый. Последний располагают ближе к задней стенке, где обеспечивается более сильный нагрев.

Для дополнительного подогревания всего стального лома (температура в печи должна быть 1300 1400 °С. Заливание чугуна длится 20-60 минут. Чугун сливают из ковша по желобу через завалочные окна в передней стенке. В период заливания чугуна в нем растворяется 30 50 % лому от общего его количества.

Период плавления начинается сразу после окончания заливания чугуна и продлевается 1-5 часов. В печь в этот период подается максимальное количество топлива, ванна продувается кислородом. В процессе заливания чугуна в первый момент плавления происходит интенсивное образование шлака, поскольку весь кремний и часть марганца, который содержится в чугуне, окисляются (в шлаки частично переходят и оксиды железа).

7.6. Технология мартеновской плавки

Толстый слой шлакам, который образовался, затрудняет передачу тепла от факела к металлу. В связи с этим в первой половине плавления удаляют из печи (путем спуска в шлаковые чаши через завалочные окна) некоторое количество шлакам. В период плавления обеспечивается удаление из металла основной массы фосфора. Химический состав металлической ванны в момент полного расплавления содержит на 0,4 0,8 % углерода больше, чем в

заданной марке стали. Окисление кремния, большей части марганца и фосфора заканчивается в период плавления, тогда как окисление углерода происходит во все периоды плавки. Поэтому окисление углеводорода является основной реакцией мартеновского процесса.

Доводка. Назначение этого периода плавки заключается в том, чтобы обеспечить доведение его до заданного химического состава и необходимой температуре. В конце этого периода металл содержит некоторый избыток углерода, фосфора и серы, а его температура на 60–100 °С ниже, чем перед раскислением. Состоит из двух периодов: периодов рудного и чистого кипения.

Рудное кипение (полировка) - основной задачей периода полировки есть формирования высокоосновного шлака (основность 2,0–3,0), способного поглощать серу и удерживать фосфор до конца плавки. Главной реакцией этого периода является реакция окисления растворенного углерода. Образовываясь вследствие этой реакции пузырьки окисла углерода, вырываются на поверхность металла, пробивают слой шлака и, выходя на его поверхность, создают впечатление "кипения" ванны. Скорость окисления углерода в этот период можно регулировать добавками железной руды или окалины, или продувкой ванны кислородом. Состав шлака, который обеспечивает удаление из металла нежелательных примесей (в частности серы), регулируется добавками извести и др. флюсующих материалов. Пузырьки окисла углерода, которые выделяются, играют важную роль в мартеновском процессе.

Перемешивая нижние слои металла (менее нагретые) с верхними (более нагретыми), ускоряют процесс нагрева всего объема металла. Кроме того, CO захватывают пути вверх некоторое количество др. газов и неметаллических частиц, присутствие которых в готовой стали ухудшает ее качество.

Чистое кипение. В период чистого кипения происходит окончательное доведение металла до необходимой температуры и химического состава.

Продолжительность чистого кипения строго регламентируется в зависимости от марки стали и составляет 25-40 мин. Общая продолжительность периода кипения 1-2,5 ч.

Выпуск металла из печи осуществляют со стороны задней стенки через сталевыпускное отверстие, которое открывают путем механического выбивания утрамбованного магнезитового порошка (или прожигают струей газообразного кислорода). Заранее устанавливают подготовленные желоб и сталеразливочный ковш. Метал по желобу стекает в сталеразливочный ковш (на большой печи плавку выпускают в 2 или 3 ковша). Общая продолжительность выпуска до 20 минут. После выпуска плавки и осмотра отверстие снова закладывают огнеупорными материалами. Из ковша металл разливают в изложницы или на установках непрерывной разливки стали. Для повышения качества мартеновской стали применяются разные методы внепечной обработки стали в ковше.

Раскисления и легирование - завершающий период плавки, основное назначение которого состоит в снижении содержания кислорода в металле и доведении химического состава металла до заданного.

Контрольные вопросы

- 1-Каком году кто изобретали Мартеновскую печь?
- 2- На сколько части подразделяются: Мартеновские печи?
- 3-Какие основные топлива сжигаются в мартеновских печах?
- 4-Общая продолжительность выпуска стала сколько минут.?
- 5- Температура подогрева воздуха в среднем составляет сколько градусов?
- 6-Для получения стали в жидком состоянии, ее необходимо нагреть до, какой температуры?

ГЛАВА 8. ЦИКЛОННЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ И ПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ.

8.1-Режим и работа циклонных печей

Высокая интенсивность горения топлива в циклонных пред топках, мощных котельных агрегатов вызвала интерес к детальному изучению циклонного процесса для определения возможности использования его преимуществ для технологических целей во многих производствах для нагрева мелкозернистых сырых материалов при обжиге, а также при плавлении руд. На рис. 8.1 показана принципиальная схема циклонной, печи с верхним отводом продуктов горения. Мелкодисперсное сырье подается сверху, а топливо (жидкое, газообразное или пылевидное) и воздух вводятся в циклон тангенциально, чем достигается закручивание, факела, несущего взвесь сырья. Центробежный эффект и сепарация твердых и жидких частиц осуществляются в основном струями воздуха, входящими в циклон со скоростью до, 120-180 м/сек. Частицы материала, захваченные газовым потоком, под действием центробежной силы отбрасываются к периферии, совершая движение по сложной траектории и пересекая газовый поток. При этом частицы, благодаря высокой турбулизации потока, очень большим относительным скоростям (до 50-150 м/сек) и высокой температуре факела, очень быстро нагреваются.

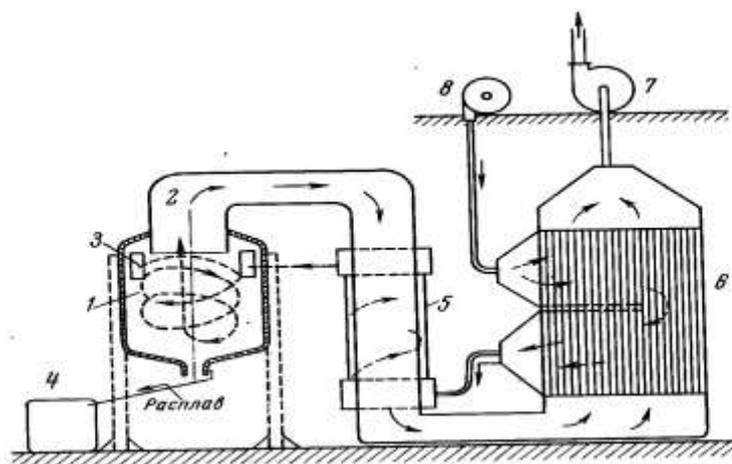


Рис:8.1. Принципиальная схема циклонной печи

8.2-Энерготехническое комбинирование циклонные, печи

Плавающие частицы материала прилипают к жидкой пленке, стекающей вниз по цилиндрической поверхности стенок циклона, получая дополнительное тепло ее толка за, счет излучения факела, но и путем конвекции. Последняя в силу больших скоростей потока играет, большую роль в теплообмене, между газами и жидкой пленкой.

После штопорообразного движения вниз в направлении оси циклона газы поворачивают на 180° и уходят вверх через центральную трубу, причем такой поворот способствует хорошей сепарации твердых и жидких частиц, в силу чего унос невелик и составляет 5-10% . Газы направляются для использования их тепла в радиационной конвективный рекуператор, в котором воздух нагревается до $600-800^\circ\text{C}$.

Энерготехническое комбинирование заключается в правильном сочетании технологии и энергетики в одной энерготехнологической установке или агрегате. Отбор пара на производство из теплофикационных турбин ТЭЦ представляет пример высокой тепловой экономичности при комбинированной выработке электроэнергии и технологического пара. Ниже рассмотрен ряд примеров энерготехнологического комбинирования.

В описано энерготехнологическое использование топлива с высоким выходом летучих веществ, Когда из топлива путем полукоксования относятся смола и другие ценные сырьевые продукты. В этом случае котельные агрегаты ТЭЦ могли бы работать на полукоксе. В этой же главе описана установка для сухого тушения раскаленного каменноугольного кокса, выдаваемого коксовой печью. Вырабатываемый котлом-утилизатором пар с давлением 40 бар и температурой 450°C используется в турбинах ТЭЦ. В гл. 8 рассмотрены котлы-утилизаторы, использующие тепло газов, уходящих с температурой выше 500°C из Мартеновских и других печей. Пар из котлов- утилизаторов используется в турбинах ТЭЦ.

В системах испарительного охлаждения доменных, мартеновских и других печей также может получаться пар энергетических параметров. Энерготехнологическое комбинирование позволяет по-новому решать организацию технологических процессов, увеличить их удельную производительность и единичные мощности. Примером такого решения может быть циклонная энерготехнологическая установка, изображенная на рис, 8.2

8.3-Схема работы комбинирование циклонные, печи

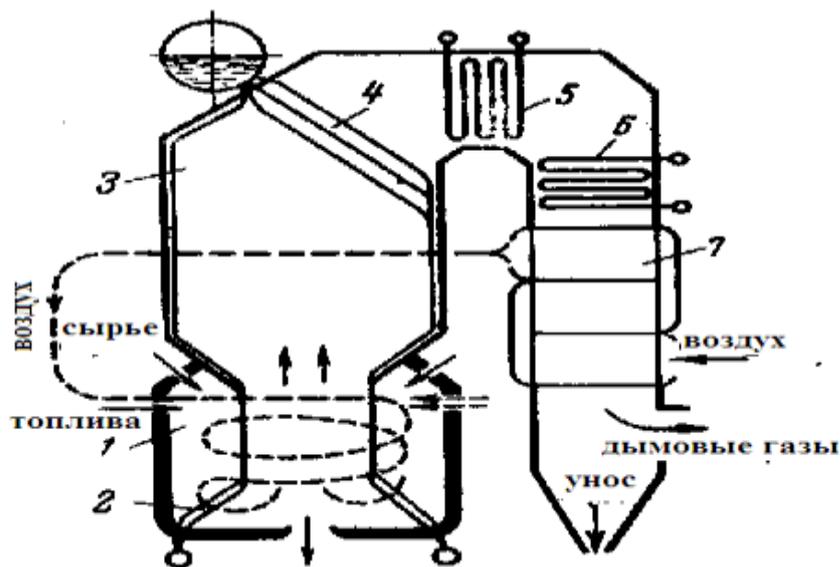


Рис: 8.2. Компоновка циклонной энерготехнологической установки
 1-циклон; 2-шлакоотделитель; 3-камера охлаждения; 4-фестон; 5-пароперегреватель; 6-водяной экономайзер; 7-воздухоподогреватель;

В этой установке в циклонной печи осуществляется тот или иной технологический процесс, требующий для своего осуществления высоких температур. Уходящие газы с очень высокой температурой входят в камеру охлаждения, отдавая тепло на выработку пара экранными поверхностями нагрева котла и далее его конвективными поверхностями нагрева в воздухоподогревателе подогревается воздух, поступающий в циклон. Циклонная печь в данном случае играет роль топки котельного агрегата вырабатывающего пар для турбин ТЭЦ. Для ускорения процесса обжига в последнее время все чаще используют печи кипящего слоя и циклонные

печи. В кипящем слое продолжительность обжига исчисляется минутами, во взвешенном состоянии – секундами или долями секунды. Особенности печей кипящего слоя и циклонных печей являются большая удельная поверхность материала и высокие значения коэффициентов теплоотдачи. Однако, несмотря на неоспоримые преимущества этого типа печей, до сих пор в производстве огнеупоров они не нашли широкого применения.

8.4-Схема работы комбинирование циклонные, печи

Это связан прежде всего, с некоторыми конструктивными и технологическими трудностями. В настоящее время имеется несколько промышленных установок по обжигу извести в кипящем слое. Для обжига извести в кипящем слое обычно применяют печи с несколькими подовыми решетками, что позволяет наиболее полно использовать тепло газового потока. В печах кипящего слоя получается известь высокого качества. Углекислый кальций при обжиге разлагается почти полностью. Печь для обжига извести в кипящем слое показана на рис. 8.3 Обжиг огнеупорного сырья происходит при более высоких температурах (1250–1400 °С). При этом может происходить сваривание отдельных зерен обжигаемого материала в крупные куски, которые, выпадая на подовую решетку, нарушают процесс.

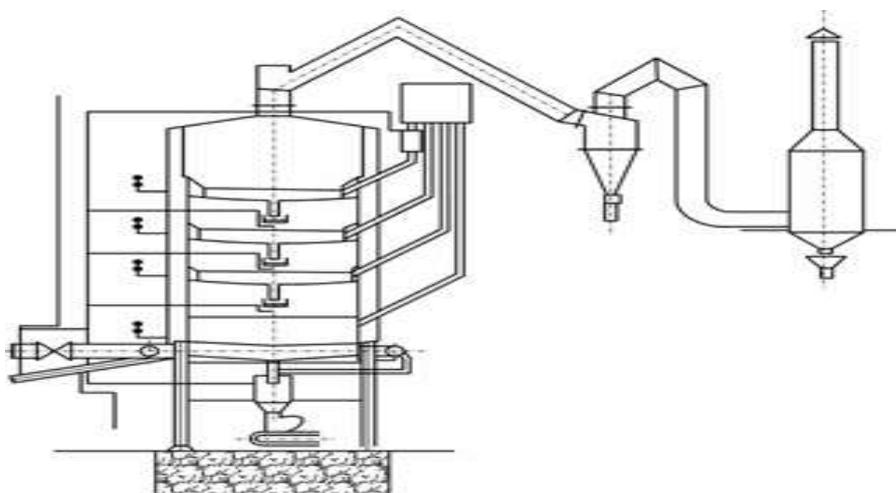
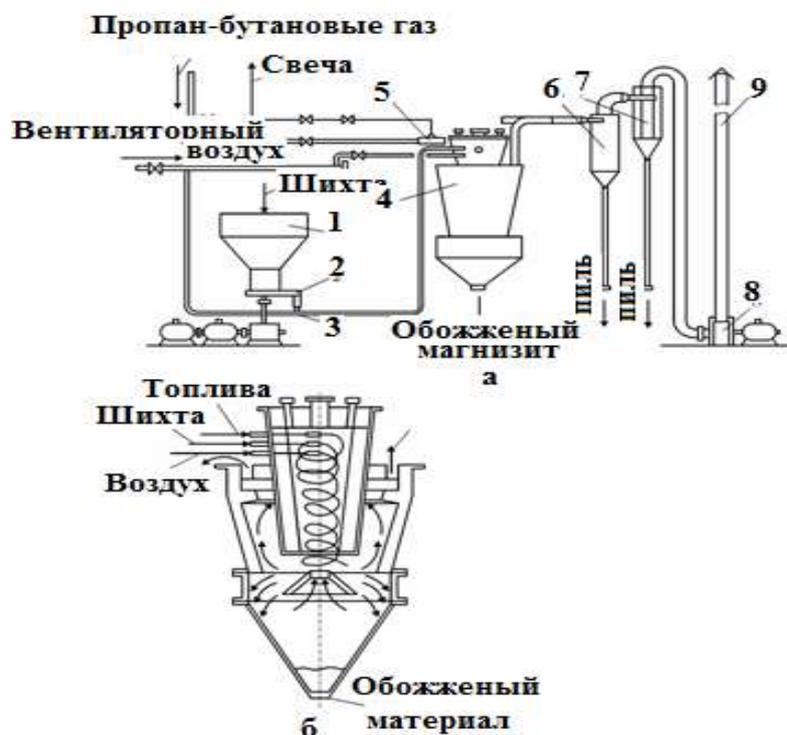


Рис: 8.3-Схема печи для обжига извести в кипящем слое

Для обжига тонкодисперсных материалов используются циклонные (вихревые) печи. Показана вихревая установка для обжига каустического магнезита, разработанная ВНИИМТ.



**Рис.8.4.Схема циклонной (вихревой) установки (а)
и вихревая обжиговая печь (б)**

1, Установка состоит из шихтового бункера, 2, тарельчатого питателя шихты
3, эжекторного смесителя 4, вихревой обжиговой камеры, 5, горелки
6, циклонов и газ, 7, батареи мультициклонов, 8, дымососа, 9 и дымовой
Вихревая обжиговая печь выполнена по типу «камера в камере». Внутренняя (рабочая) камера предназначена для обжига каустического магнезита. Производительность опытной установки активирующего обжига каустического магнезита $0,85 \text{ т}/(\text{м}^3 \cdot \text{час})$, КПД 80–85 %.

Контрольные вопросы?

- 1-Чем отличается циклонной, печи из других промышленных печей?
- 2-Преимущества циклонных печей для технологических целей?
- 3-Высокой турбулизации потока газов скорость скола м/сек?

ГЛАВА 9. ИСПОЛЬЗУЮМЫ И ЭКОНОМИ ТОПЛИВО В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСТРОЙСТВАХ

9.1. Промышленные печи.

Вопросы энергосбережения чрезвычайно актуальны для нагревательных и термических печей металлургических и машиностроительных предприятий и предприятий других отраслей, где наряду с современными механизированными печами существует большое количество физически и морально устаревших печей, не подвергавшихся реконструкции и работающих с очень высокими энергозатратами. Основные конструктивные решения, направленные на экономию энергоресурсов, при новом строительстве и реконструкции нагревательных и термических печей следующие. Оптимальный выбор типа печи, интенсивности ее работы (напряжения пода) и системы отопления Тип печи оказывает решающее влияние на энергопотребление печи. Например, печи с роликовым подом являются наиболее универсальными по технологии и обрабатываемым изделиям, хорошо встраиваются в непрерывные линии производства, однако необходимость охлаждения роликов в высокотемпературных печах приводит к повышенному энергопотреблению. Поэтому для высокотемпературного нагрева печи с ро- ликовым подом применяются в исключительных случаях.

Напряжение пода характеризует интенсивность работы печи и определяет использование тепла топлива в рабочем пространстве печи. Естественно стремиться к высокой интенсивности работы печи, т.к. это позволяет увеличить ее производительность или уменьшить размеры печи при той же производительности. С точки зрения энергопотребления принципиально важно, за счет чего происходит повышение интенсивности работы печи. Если это происходит за счет увеличения температуры в печи и температуры уходящих из печи продуктов сгорания, то следствием является ухудшение использования тепла в рабочем пространстве печи и повышение

энергозатрат. В то же время повышение интенсивности работы за счет интенсификации теплообменных процессов позволяет снизить удельные энергозатраты при прочих равных условиях. Поэтому для энергосбережения следует выбирать средства и системы, интенсифицирующие теплообмен в рабочем пространстве печи. К таким средствам можно отнести импульсную, факельно-сводовую и струйно-факельную системы отопления, струйную обдувку, организованную циркуляцию и пр. Расположение горелочных устройств в проходных печах существенно влияет на возможность управлять режимом работы печи. Распределенная по длине печи подача топлива при сводовой или боковой системе отопления позволяет гибко регулировать тепловой и температурный режим печи в условиях широкого изменения сортамента нагреваемых изделий и производительности печи.

Порядное регулирование подачи тепла позволяет установить оптимальные тепловые и температурные режимы нагрева при любом изменении условий работы печи (различные марки сталей и размеры заготовок, различная производительность, горячий и холодный посад и т.д.). В частности, в методических печах при уменьшении производительности можно выключать ряды горелок в конце печи со стороны посадки заготовок и тем самым удлинять методическую зону, добиваясь наилучшего использования тепла продуктов сгорания в рабочем пространстве печи.

9.2. Глубокое использование теплоты уходящих продуктов сгорания

В настоящее время на крупных печах применяются в основном металлические трубчатые петлевые рекуператоры. Эти рекуператоры рассчитаны на температуру продуктов сгорания до 1000 °С и подогрев воздуха до 450 °С. Стальпроект разработал компактный рекуператор из труб малого диаметра, обеспечивающий интенсификацию теплообмена в рекуператоре и подогрев воздуха до 500-550 °С. При более высокой температуре продуктов сгорания перед рекуператором возможно

применение радиационных рекуператоров и рекуператоров типа "труба в трубе" На небольших печах используются радиационные щелевые, радиационно- конвек-тивные, струйные панельные и кожухотрубные рекуператоры тегатопроекта. Эти рекуператоры, их конструктивные размеры, технические характеристики, особенности применения подробно описаны в .

Наиболее глубокое использование тепла высокотемпературных продуктов сгорания, уходящих из рабочего пространства печи, возможно в регенераторах. Однако используемые ранее регенераторы, представляющие собой кирпичную насадку, имеют существенные недостатки, отмеченные в разделе. В настоящее время разработана регенеративная система отопления, в которой используются регенераторы с керамической шариковой насадкой. При этой системе горелки, снабженные индивидуальными регенераторами, объединяют в блоки (не менее двух). Через один регенератор или их группу подают подогреваемый воздух (газ), а через другой или группу — отводят продукты сгорания, применение шариковой насадки дает возможность подогревать воздух всего на 100— 150 градусов ниже температуры уходящих продуктов сгорания, т.е. в методических нагревательных печах можно сжигать топливо с воздухом, подогретым до 1000— 1100 °С. Коэффициент использования тепла при этом достигает значений 70-80 %, а экономия топлива может составлять 30-50 % и более. Система особенно эффективна при отоплении печи газом с низкой теплотой сгорания.

Из регенератора продукты сгорания выходят с температурой порядка 200С, что облегчает их транспортирование и делает нецелесообразным дальнейшую утилизацию тепла. Керамическая шариковая насадка служит хорошим фильтром для очистки продуктов сгорания от пыли, частиц окислы и т.д. Насадку легко заменить без остановки печи, а засоренная насадка промывается водой и может использоваться повторно. Перекидка регенераторов осуществляется специальными клапанами, обеспечивающими

срабатывание за несколько секунд и рабочий ресурс не менее 1 млн. перекидок. Регенеративная система отопления может быть успешно применена для плавильных и нагревательных печей. При этом регенеративные горелки встраиваются в кладку или располагаются с внешней стороны печи, они могут быть установлены как в отдельных зонах, так и по всей печи. Пример установки регенеративных горелок на нагревательной толкательной печи. Печь садового типа, предназначенная для нагрева перед деформацией на прессе титановых слитков и прутков из сплавов ВТ6 и ВТ10, имеет ширину 3,2 м, длину 5,1 м и высоту 1,94 м (площадь пода 16,6 м²). Максимальная масса слитка 5 т (диаметр слитков может быть от 180 до 950 мм, длина до 4 м), максимальная масса садки 7 т. В трех зонах теплового регулирования на боковых стенках печи установлены соответственно 2,4,2 горелки с индивидуальными компактными засыпными регенеративными насадками, состоящими из корундовых шаров диаметром 20 мм. Объем одной насадки 0,232 м³. Для реверсирования потоков используется перекидной клапан специальной конструкции. Цикл переключения задается либо таймером (0,5-1,0 мин.),

9.3. Вторичные энергетические ресурсы

В энергетических балансах предприятий особенно энергоемких отраслей значительное место занимают вторичные энергетические ресурсы (ВЭР). Экономия топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) может быть реализована в двух направлениях. Во-первых, за счет усовершенствования технологических процессов и аппаратов (новых энергосберегающих технологий), благодаря чему достигается повышение КПД и снижается расход топлива и энергии. Во-вторых, посредством утилизации ВЭР, которые неизбежно возникают в больших объемах особенно в энергоемких производствах, и за счет которых можно получить 30 – 35% сбережения ТЭР.

Под вторичными энергоресурсами понимают энергетический потенциал отходов продукции, побочных и промежуточных продуктов, образующихся в теплотехнологических агрегатах (установках), который может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других агрегатов или в самом аппарате. Энергетические отходы, которые возвращаются обратно на вход в технологический агрегат, называются ВЭР внутреннего использования, а ВЭР, утилизируемые в других установках – внешнего использования. Сам технологический агрегат, который является источником энергетических отходов, называется источником ВЭР. Все ВЭР подразделяют на три основные группы.

Горючие (топливные) ВЭР – химическая энергия отходов от огнетехнического оборудования. Это горючие газы плавильных печей, вагранок и т.д., горючие отходы процессов химической и нефтехимической промышленности, горючие отходы черной и цветной металлургии, газовой промышленности. Источником горючих ВЭР являются также лесная и деревообрабатывающая промышленность.

Тепловые ВЭР – физическая теплота отходящих дымовых газов и тепловых отходов от теплотехнологических аппаратов в виде теплоты горячей воды, пара, паровоздушной смеси, тепла конденсата пара и т.д.

ВЭР избыточного давления – энергия газов, жидкостей, пара, покидающие агрегаты с избыточным давлением ($P > P_{ам}$), которое необходимо снижать при выбросе в атмосферу. Все виды ВЭР в зависимости от их свойств могут использоваться потребителем как в виде топлива или для выработки теплоты, холода, электроэнергии и механической работы посредством специализированных утилизационных установок.

На каждом этапе технического развития существуют экономические пределы повышения КПД энергоиспользования. Но практика использования ВЭР в различных отраслях промышленности, особенно в энергоемких производствах, показывает, что резервы повышения коэффициента полезного использования (КПИ) очень велики. Современный уровень

развития производства и техники позволяет свести потери энергии до 10 – 15 % от расхода первичных ТЭР. Только применение новейших энергосберегающих технологий позволит дополнительно уменьшить расход энергоресурсов в 2 – 4 раза. Особенно значительные энергетические потери в доменном производстве, на машиностроительных предприятиях, нефтеперерабатывающих заводах, в производстве строительных материалов, в химической промышленности. В данных отраслях промышленности КПИ не превышает 10 – 20 %, а потенциал энергосбережения даже без внедрения новейших технологий, а только за счет использования ВЭР очень велик и может составлять 35 – 40 % от расхода первичных ТЭР. Применительно к ВЭР используются следующие понятия и термины: Общие энергетические отходы – это энергетический потенциал всех материальных потоков на выходе из теплотехнологического агрегата (аппарата) и все потери энергии в агрегате.

Общие энергетические отходы подразделяются на три потока:

неизбежные потери энергии в технологическом аппарате;

1. энергетические отходы внутреннего использования, - которые возвращаются обратно в агрегат за счет регенерации или рециркуляции;

2. энергетические отходы внешнего использования, - которые используются в других агрегатах.

Полный выход ВЭР – масса вторичных энергоресурсов, которые образуются в данной установке за определенный период времени.

Возможный выход ВЭР – возможное (максимальное) количество энергии, которое экономически целесообразно можно использовать в утилизационных установках.

Коэффициент использования (выработки) энергии за счет ВЭР – отношение фактического использования энергии, полученной за счет ВЭР, к планируемой выработке. Резерв утилизации ВЭР – количество энергии, которое может быть дополнительно вовлечено в производство.

Возможная экономия топлива за счет ВЭР – количество энергии, которое было бы получено при полном использовании всего выхода ВЭР. Коэффициент утилизации ВЭР – отношение фактической экономии топлива за счет ВЭР к возможной. Определяется как для одного агрегата-источника ВЭР, так и группы агрегатов, так и суммарно для всех видов ВЭР. Для характеристики состояния использования ВЭР, пригодных для непосредственного использования без преобразования энергоносителей, применяют следующие показатели: выход ВЭР; фактическое использование ВЭР; резерв утилизации ВЭР; экономия топлива за счет ВЭР; коэффициент утилизации ВЭР. Уменьшение потерь тепла из рабочего пространства печи

9.4. Уменьшение потерь тепла на водоохлаждаемые элементы.

Эта потеря тепла является наиболее существенной, особенно в высокотемпературных печах с двухсторонним обогревом, где заготовки лежат на водоохлаждаемых подовых трубах (балках). Здесь потери тепла определяются качеством изоляции подовых труб и балок. Изоляция должна иметь низкую теплопроводность, стойкость к ударам и вибрации, не реагировать с осыпающейся окалиной. Хорошая изоляция не только значительно сокращает потери тепла с охлаждающей водой, но и уменьшает охлаждающее действие труб на нагреваемые заготовки, т.е. повышает равномерность нагрева заготовок. В настоящее время наилучшие результаты показывает двухслойная изоляция с наружным слоем из жароупорного бетона и внутренним — из керамического материала. Стойкость такой изоляции составляет 2-3 года, тепловые потери через охлаждаемые трубы сокращаются в 10-12 раз.

Возможно применение изоляционно-рейтерных блоков, предлагаемых НТЦ ЭПУ ОИВТ РАН. Прорабатываются вопросы замены водоохлаждаемых элементов изделиями из высокожаропрочных сплавов

(кобальтовые, высокохромистые и др.), металлокерамики и модифицированных огнеупоров, например, карбидкремниевых.

В термических печах целесообразно использовать высокотемпературные смазки, которые позволяют отказаться от водяного охлаждения цапф роликов. Применение современных огнеупорных и теплоизоляционных материалов позволяет. В значительно уменьшить потери тепла через кладку, улучшить плотность печи, увеличить стойкость футеровки и межремонтные периоды работы печи. настоящее время для футеровки методических нагревательных печей широко применяются жароупорные бетоны, пластичные и набивные массы, волокнистые и легковесные огнеупоры отечественных и зарубежных фирм. Большой эффект для методических нагревательных печей дает выполнение подвешного свода из жароупорного бетона.

Подвешной свод из штучных фасонных огнеупоров очень неплотен, что вызывает большие потери тепла и фильтрацию продуктов сгорания. Бетонный свод выполняется из нескольких слоев и крепится на керамических анкерах. Внутренний слой, обращенный в рабочее пространство печи, выполняется из жароупорного бетона с содержанием Al_2O_3 не менее 50 %. Бетонный свод обладает высокой плотностью, хорошими изолирующими свойствами, его стойкость превышает стойкость подвешного свода из фасонных огнеупоров в 5-10 раз.

Очень важно качество огнеупоров, применяемых для выполнения подины печей. Они должны иметь высокую огнеупорность и термостойкость, достаточную прочность при ударном и истирающем воздействии заготовок, не должны реагировать с осыпающейся окалиной. Для футеровки подины толкательных печей целесообразно использовать в верхнем рабочем слое жароупорные бетоны с содержанием Al_2O_3 не менее 80 %. Для балок в печах с шагающим подом применяют многослойную футеровку с верхним рабочим слоем, выполненным из жароупорного бетона с содержанием Al_2O_3 в высокотемпературной зоне не менее 80 %, а в низкотемпературной зоне — не менее 50 %.

Такая футеровка позволяет отказаться от металлической облицовки шагающих балок, выполняемой из дорогостоящего жароупорного стального литья. Улучшается качество и экономичность нагрева, т.к. при металлической облицовке балок происходит сток тепла в щели между балками, в результате чего увеличивается неравномерность нагрева заготовок и расход топлива.

9.5-Теплообменные аппараты для утилизации высокотемпературных ВЭР

К высокотемпературным ВЭР в промышленности относят дымовые газы с температурой выше 600 С, которые покидают рабочее пространство огнетехнических агрегатов и по- этому уносят с собой значительное количество тепла. Основными источниками данных ВЭР являются черная и цветная металлургия, химическая и нефтехимическая промышленность, промышленность строительных материалов, стекловаренная промышленность и т.д.

Потери тепла с уходящими газами таких агрегатов могут составлять 20 – 80%. Утилизация теплоты уходящих газов принципиально может выполняться двумя способами: с возвратом отобранного тепла у газов на вход в данный агрегат (ВЭР внутреннего использования) и без возврата (ВЭР внешнего использования). Для утилизации этих ВЭР широко используются разнообразные теплообменники рекуперативного и регенеративного типа, использование которых позволяет повысить КПД агрегатов на 15 – 20%, увеличить температуру горения и сэкономить топливо. Теплота ВЭР дымовых газов с возвратом на вход в агрегат оказывается значительно ценнее тепла, полученного в результате сгорания топлива, так как вносимое тепло не влечет потерь тепла с дымовыми газами и повышает температуру сгорания топлива.

Практически утилизировать все тепло отходящих газов невозможно, из-за значительного нецелесообразного увеличения поверхности нагрева теплообменников. Утилизация тепла отходящих газов осуществляется в теплообменниках регенеративного и рекуперативного типов. Регенеративные работают при нестационарном тепловом режиме, рекуперативные при стационарном.

Теплообменники регенеративного типа имеют следующие недостатки: не обеспечивают постоянную температуру подогреваемого теплоносителя (воздуха); на время переключения клапанов прекращается питание агрегата теплом; потери тепла через дымовую трубу; смешение теплоносителей из-за неплотностей; большие размеры и масса регенераторов. Однако, несмотря на недостатки регенеративные теплообменники широко используются на высокотемпературных агрегатах, так как они могут работать при высокой температуре дымовых газов (1300 – 1500 С). При такой высокой температуре рекуператоры не могут работать устойчиво.

Рекуперативный принцип утилизации тепла отходящих газов обеспечивает постоянную температуру подогрева нагреваемого теплоносителя, не требуются переключающие клапана, отсутствует унос тепла в дымовую трубу, меньшая металлоемкость и размеры по сравнению с регенераторами. Основным недостатком рекуператоров является низкая огнестойкость металлических теплообменников и низкая газоплотность керамических рекуператоров, а также утечки через неплотности между двумя сторонами теплоносителей из-за перепада давлений.

К рекуператорам предъявляют следующие требования: обеспечение максимальной степени утилизации тепла дымовых газов с высокой температурой; максимальная компактность конструкции; максимальная интенсивность теплопередачи; наименьшее гидравлическое сопротивление; достаточная герметичность. Рекуператоры изготавливаются из металла и керамических материалов. Керамические рекуператоры более громоздки, занимают много места, однако могут устойчиво работать при

высоких температурах 1200 – 1350 С и обеспечивают подогрев теплоносителя до 800 С. Целью расчета рекуператоров является определение размеров теплообменника для обеспечения подогрева необходимого количества нагреваемого теплоносителя (воздуха) до необходимой температуры.

Для утилизации теплоты дымовых газов с температурой 800 – 900С часто используются игольчатые рекуператоры, которые собирают из отдельных труб, на которых имеются иглы. Иглы могут быть как на внутренней, так и на наружной стороне трубы. Иглы увеличивают действительную поверхность нагрева, турбулизируют поток газов, что приводит к существенному увеличению интенсивности теплопередачи и уменьшает габариты теплообменника. Игольчатый рекуператор собирают из отдельных труб с фланцами, соединяемых при помощи болтов. Число ходов рекуператора зависит от температуры подогрева нагреваемого теплоносителя (воздуха). Чаще всего применяются двухходовые рекуператоры с подогревом воздуха до 300 – 400⁰С при температурах дымовых газов 800–900⁰ С. Скорости движения дымовых газов и воздуха принимаются: для металлических рекуператоров скорость движения газов 3 – 5 м/с, скорость воздуха 7 – 10 м/с, для керамических рекуператоров из-за низкой газоплотности скорость газов 0,8–1 м/с, скорость воздуха 0,8–2 м/с для игольчатых рекуператоров скорость дымовых газов 5 – 14 м/с, скорость воздуха 6–10 м/с, что диктуется гидравлическими сопротивлениями по газовой и воздушной стороне теплообменников.

Контрольные вопросы

- 1- Что такое теплотá сгорания?
- 2- Парообразование 1 кг водяных паров расходуется сколка кДж/кг теплота?
- 3- Что такое теплота сгорания топлива?
- 4- Как различается высшая и низшая теплота сгорания?

Пимеры решения задач по тему

Тепловой расчет теплообменных устройств. Целевой показатель за счет теплоты теплообменника – необходимая площадь поверхности теплообмена найти F . Найти F будет задан расход теплоносителей для определения их начальной и конечной температуры. В результате теплового расчета теплообменника определяется следующее 1) разница между температурой одного из теплоносителей и средней температурой; 2) количество теплоты и расход теплоносителя; 3) коэффициент теплопередачи; 4) площадь поверхности теплообмена.

Примеры решения задач. Задача 1 Расход в водяном плоскотрубном экономайзере $G = 10000 \text{ kg/soat}$ Вода нагревается от 40 до 140 °С. В этом случае газы охлаждаются Охлаждает от 350 до 150 °С .Коэффициент теплопередачи для экономайзера $k=16,3 \text{ Vt}/(m^2 \cdot ^\circ\text{C})$. *Suv va gazlarning to'g'ri va teskari oqimlari uchun qizdirish yuzasini aniqlang.*

Решение: Количество теплоты, полученное водой в экономайзере:

$$Q = Gc(t_2'' - t_2') = \frac{10000 \cdot 4,187}{3600} (140 - 40) = 1,163 \text{ MVt}$$

Средне логарифмическая разность температур в обратном потоке

$$\Delta t_{log} = \frac{\Delta t_{kat} - \Delta t_{kich}}{\ln \frac{\Delta t_{kat}}{\Delta t_{kich}}} = \frac{(350 - 140) - (150 - 40)}{\ln \frac{350-140}{150-40}} = 154^\circ\text{C}$$

Поверхность нагрева экономайзера в противотоке:

$$F = \frac{Q}{k\Delta t_{log}} = \frac{1,163 \cdot 10^6}{16,3 \cdot 154} = 465 \text{ m}^2$$

То'g'ri oqimda haroratlarning o'rtacha logarifmik farqi:

$$\Delta t_{log} = \frac{\Delta t_{kat} - \Delta t_{kich}}{\ln \frac{\Delta t_{kat}}{\Delta t_{kich}}} = \frac{(350 - 40) - (150 - 140)}{\ln \frac{350-40}{150-140}} = 87,5^\circ\text{C}$$

То'g'ri oqimda ekonomayzerning qizdirish yuzasi

$$F = \frac{Q}{k\Delta t_{log}} = \frac{1,163 \cdot 10^6}{16,3 \cdot 87,5} = 820 \text{ m}^2$$

ГЛАВА.10 МЕТОДЫ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВО В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСТРОЙСТВАХ

10.1-Топливо и его сжигание в печах

Преобразование химической энергии топлива в теплоту происходит в процессе горения, который представляет собой цепную реакцию окисления горючих элементов топлива. Продукты горения топлива в печах должны быть газообразными и безвредными для человека и природы. До недавнего времени считалось, что этим требованиям удовлетворяют два химических элемента – углерод (С) и водород (Н), а также их химические соединения – углеводороды. К настоящему времени выяснилось, что безвредным топливом является только водород, в результате горения которого образуются пары воды. Продукт горения углерода CO_2 , десятилетиями накапливаясь в атмосфере, создает вокруг земли "парниковый эффект", изменяющий климатические условия, что может привести к экологической катастрофе. Мировое сообщество осознало эту опасность и с 90-х годов прошлого века принимает меры по сохранению объема использования углеродного топлива на существующем уровне.

Теплота сгорания показывает, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании единицы топлива. Для твердого и жидкого топлива такой единицей служит 1 кг, для газообразного – 1 м³ при нормальных условиях. Единица измерения теплоты сгорания – Дж/м³ или кратные единицы кДж/кг, кДж/м³, МДж/кг. МДж/м³. Используют также внесистемную единицу ккал/кг и ккал/м³ (1 ккал = 4,187 кДж).

Твердое и жидкое топливо содержит следующие элементы: углерод (С), водород (Н), кислород (О), азот (N), серу (S), а также золу (А) и влагу (W). Содержание каждого элемента измеряется в % массы. Различают органическую, горючую, сухую и рабочую (влажную) массу топлива. В табл. 1 представлен их элементарный состав и обозначение (индекс).

Газообразное топливо состоит из смеси газов, содержание которых измеряют в % объема. Различают составы сухого и влажного (рабочего) газа. Известны четыре основных способа сжигания топлива: слоевой, факельный, циклонный (вихревой) и в кипящем слое (рис. 8.1). Применение того или иного способа зависит от вида топлива и мощности топки. Для сжигания древесного топлива используются все четыре способа.

10.2- Метод слоевой, факельного сжигания топлив.

При слоевом сжигании (рис. 10.1, *а*) твердое топливо находится на колосниковой решетке, через которую продувается воздух. Горючие составляющие топлива сгорают в слое и частично в объеме топки, куда они попадают в составе летучих, образовавшихся при термическом разложении топлива. В слоевых топках сжигаются дрова, крупномерные отходы производства, щепы и смеси щепы, опилок, коры и стружки в различных соотношениях. **Для факельного сжигания** (рис.10.1, *б*) топливо в пылевидном состоянии предварительно смешивается с воздухом в специальных устройствах (горелках) и затем поступает в топочный объем. Хорошее перемешивание мелких частиц топлива с воздухом обеспечивает большую площадь горения и высокую интенсивность процесса. Факельный процесс используется для сжигания сухих опилок и стружки, шлифовальной пыли, измельченных топливных гранул и брикетов.

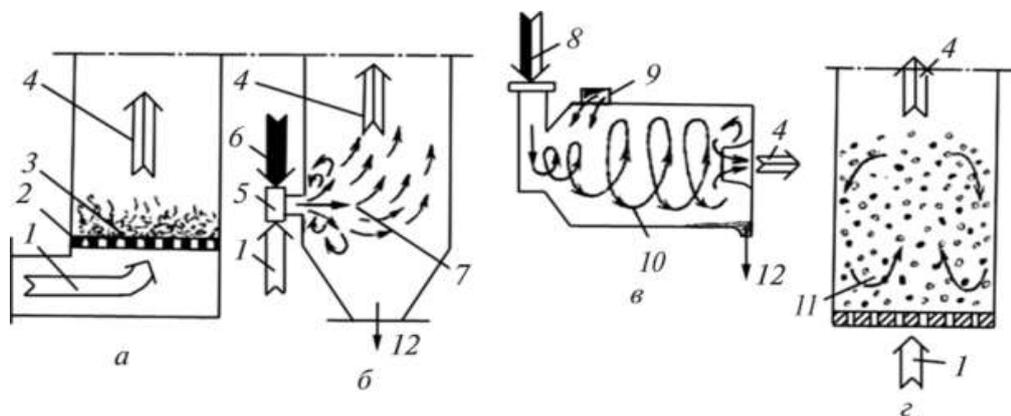


Рис. 10.1. Схемы топков и организации топочных процессов:

а — слоевая топка; б — факельная топка; в — циклонная топка; г — топка с кипящим слоем; 7 — подвод воздуха; 2 — колосниковая решетка; 3- слой горящего топлива; 4 — газообразные продукты сгорания; 5 — горелка; б — подача топлива; 7 — факел; 8 — подвод смеси топлива и воздуха; 9 — подвод вторичного воздуха; 10 — вихрь горящего топлива, продуктов сгорания и воздуха; 11 — псевдоожиженный слой; 12 — отвод шлака

Циклонное сжигание (рис. 10.1, в) применяется для твердого измельченного топлива. Процесс организуется путем тангенциальной подачи воздуха в цилиндрическую камеру, что обеспечивает многократную циркуляцию частиц топлива в зоне с высокой температурой до полного их сгорания. Циклонное сжигание позволяет использовать более крупные, чем при факельном сжигании, частицы топлива (2...5 мм). Если циклонный процесс совмещается со слоевым сжиганием крупных фракций, то такую топку называют вихревой.

Процесс сжигания в **псевдоожиженном (кипящем) слое** (рис. 10.1, з) используется для сжигания твердых частиц топлива с размерами меньше 20 мм. Он организуется продуванием воздухом со скоростью 0,1...0,5 м/с через слой, состоящий из смеси мелких частиц топлива и инертных частиц (золы, песка, специально добавляемого измельченного шамота или известняка). Содержание топлива в слое не превышает нескольких процентов, что дает возможность сжигать топливо с высокой зольностью.

В кипящем слое частицы топлива и инертные частицы находятся во взвешенном состоянии, когда вес частицы уравновешен динамической силой потока воздуха. Частицы непрерывно перемещаются в пределах слоя. Состояние псевдоожиженности слоя достигается подбором величины скорости воздуха, которая определяется размерами частиц и плотностью топлива. Частицы топлива циркулируют в объеме слоя до полного их выгорания.

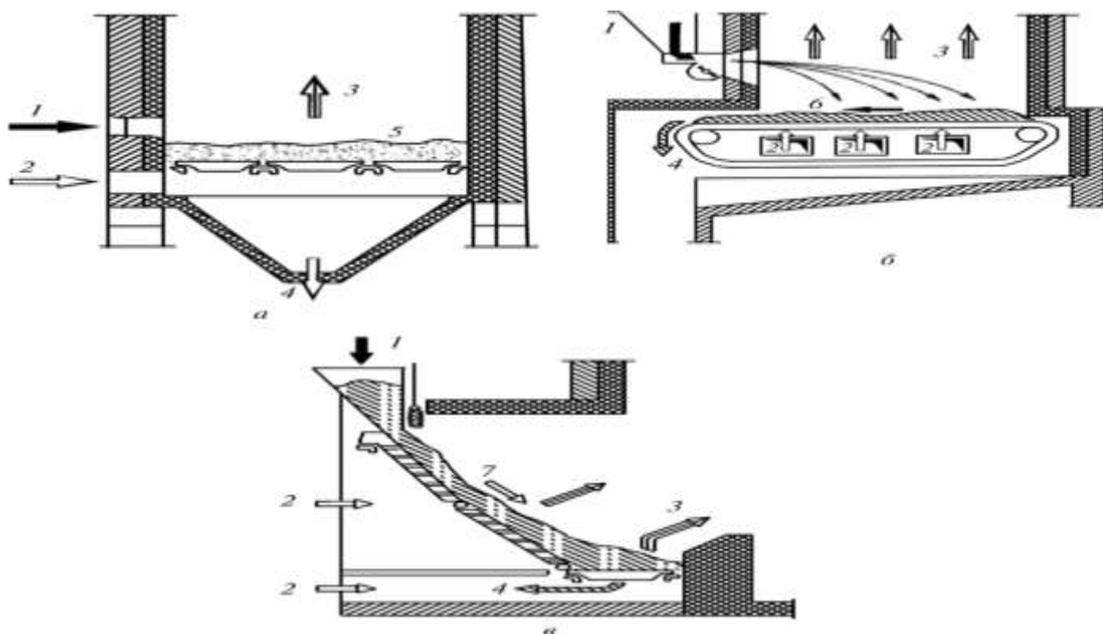


Рис. 10.2. Схемы топок для сжигания твердого топлива в слое:

а — топка с неподвижной горизонтальной колосниковой решеткой; *б* — топка с подвижной решеткой обратного хода с забрасывателем; *в* — топка с наклонной колосниковой решеткой и подвижным слоем топлива; 7 — подача топлива; 2 — подвод воздуха, колосниковая решетка; 3 — газообразные продукты сгорания; 4 — отвод шлака; 5 — неподвижная горизонтальная колосниковая решетка с неподвижным слоем топлива; б — горизонтальная подвижная колосниковая решетка; 7 — наклонная колосниковая решетка с подвижным слоем топлива; в — подвижная колосниковая решетка и перемещающимся по ней слоем топлива (рис. 10.2, в).

В топках с неподвижной решеткой последняя должна быть расположена наклонно или вертикально, а слой топлива перемещается под действием силы тяжести. Такие топки называют также шахтными.

Существуют и другие варианты, например, когда слой топлива перемещается по наклонно-переталкивающей решетке, имеющей небольшой угол наклона и колосники, совершающие возвратно-поступательное движение.

Топки характеризуются следующими показателями: тепловым напряжением объема топки, тепловым напряжением поперечного сечения (зеркала горения

для слоевых топок), коэффициентом избытка воздуха и тепловыми потерями.

Тепловое напряжение объема топки q_v , кВт/м³, равно количеству теплоты, выделяемому в топке за 1 с в расчете на 1 м³ ее объема:

где V — секундный расход топлива, кг/с; Q_f — низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг; V_T — объем топки, м³, за вычетом объема, занимаемого слоем топлива в слоевых топках. Величина q_v для древесного топлива зависит от вида топки и изменяется в пределах 230...350 кВт/м³.

Тепловое напряжение поперечного сечения топки (форсировка) q_F , кВт/м², равно количеству теплоты, выделяемому в топке за 1 с, в расчете на 1 м² площади поперечного сечения топочной камеры. Для слоевых топок форсировку называют тепловым напряжением зеркала горения где R_T — площадь зеркала горения, м², равная площади решетки, на которой происходит горение топлива. Величина q_R для древесного топлива зависит от вида топки и изменяется в пределах 580...6000 кВт/м². Тепловое напряжение поперечного сечения площадью F камерных топок $q_F = BQ_f / F = 3800...5200$ кВт/м², тепловое напряжение поперечного сечения циклонных топок — до 20 МВт/м².

Основными потерями теплоты в топке являются потери в результате химической и механической неполноты сгорания. Потери определяются в процентах от теплоты, вносимой в топку с топливом.

10.3. Химическая, механическая неполнота сгорания

Химическая неполнота сгорания $q_3, \%$, проявляется в том, что некоторое количество продуктов неполного горения или газификации (окись углерода, водород, метан и тяжелые углеводороды) выходит из топки, не успев окислиться до диоксида углерода и водяного пара, и уносит часть теплоты топлива. Химическая неполнота сгорания обусловлена недостаточным количеством подаваемого воздуха, недостаточной для активного горения температурой в топке, недостатком времени пребывания топлива в топке для

завершения процесса горения и т.д. На температуру в топке заметно влияет влажность топлива и наличие теплообмена продуктов сгорания и горящего топлива с поверхностями теплообмена котла. При соблюдении оптимальных режимов эксплуатации топок величина химической неполноты сгорания в зависимости от вида топок равна 0,5...2% .

Механическая неполнота сгорания q_4 , %, возникает при сжигании твердого топлива вследствие удаления части топлива из топки вместе с золой и шлаком, а также уноса из топки мелких частиц топлива с газообразными продуктами сгорания. Величина механической неполноты сгорания в зависимости от вида топки и топлива равна 1... 14%.

Величина химической и механической неполноты сгорания топлива выражается в процентах от располагаемой теплоты. В топках возникают также потери теплоты в окружающую среду, а при сжигании твердого топлива — потери теплоты с физическим теплом удаляемого из топки шлака, но эти потери не являются расчетными характеристиками топок, а при сжигании древесного топлива ввиду низкой зольности пренебрежимо малы.

Все перечисленные потери учитываются при составлении теплового баланса котлоагрегатов и определении их КПД (см. гл.9).

Коэффициент избытка воздуха $a_T = F^H / F''$ зависит от вида топлива и способа сжигания. Изменяется в пределах 1,1... 1,4. Меньшее значение наблюдается при сжигании газа, мазута и измельченного твердого топлива в камерных топках, когда условия для перемешивания воздуха и топлива благоприятны. При слоевом сжигании твердого топлива коэффициент избытка воздуха 1,4, в циклонных и вихревых топках— 1,25...1,3.

Все теплотехнические характеристики топок устанавливаются экспериментально. Древесные отходы как топливо обладают рядом особенностей, что учитывается при создании топок. Как правило, это разнородный гранулометрический состав (от крупных дров до опилок и шлифовальной пыли), повышенная влажность и т.д. Поэтому для их сжигания

используются, как отмечалось ранее, все рассмотренные способы — слоевое сжигание, факельное, циклонное (вихревое) и сжигание в кипящем слое.

Высокая влажность топлива снижает температуру в зоне горения и, как следствие, увеличивает химическую неполноту сгорания. Меры, применяемые для уменьшения влияния влажности топлива, следующие: предварительная подсушка топлива отработанными уходящими газами, организация процесса сжигания с выделением участка подсушки внутри топки, нагрев дутьевого воздуха в воздухоподогревателе до 200...250 °С, уменьшение отвода теплоты внутри топки сокращением площади теплообменных поверхностей котла, обращенных в топочный объем. Основные особенности топок для древесных отходов будут рассмотрены далее.

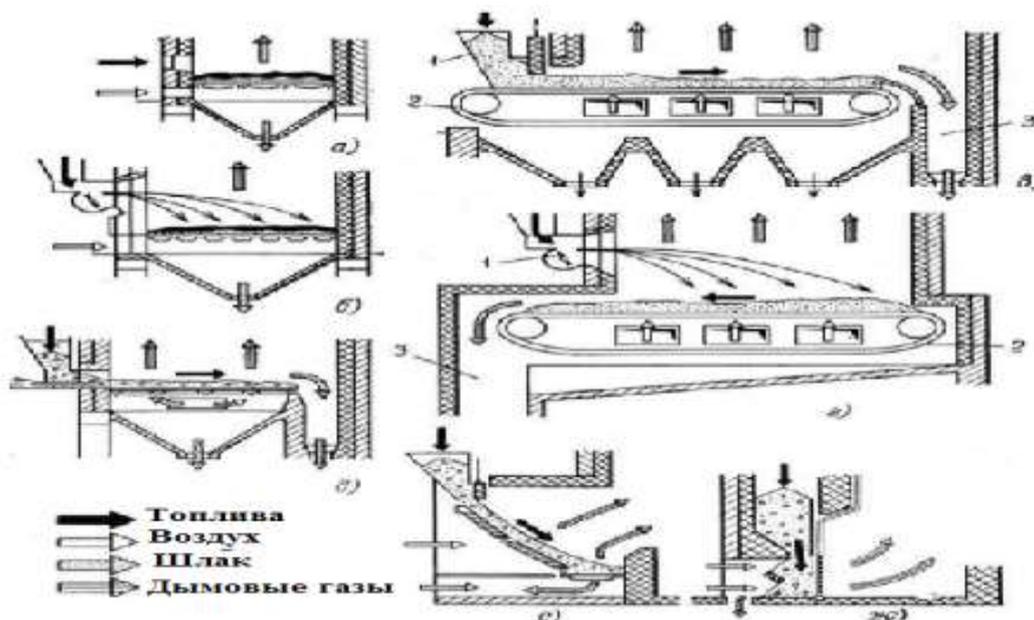
Топочное устройство или топка - часть котельной установки или печи, в которых происходит сжигание органического топлива с выделением химически связанной энергии. В топке происходит теплообмен между продуктами сгорания и поверхностями нагрева котла или материалом, находящимся в печи. При сжигании твердого топлива топка одновременно играет роль сепарационного устройства, так как в ней происходит частичное отделение золы от продуктов горения. Различают три способа сжигания топлива: слоевой, факельный и вихревой. В соответствии со способами сжигания топлива в слое, факеле и вихре различают топки: слоевые, камерные (факельные) и циклонные (вихревые). В слое сжигают только твердое топливо, в остальных случаях - твердое, жидкое и газообразное.

Слоевые топки. Топки для сжигания топлива в слое (рис. 2.1) бывают:

- 1) с неподвижной колосниковой решеткой и неподвижно лежащим на ней слоем топлива (рис. 10.1, а, б);
- 2) с движущейся колосниковой решеткой, перемещающей лежащий на ней слой топлива (рис. 10.1, в, г);
- 3) с неподвижной колосниковой решеткой и перемещающимся по ней слоем топлива (рис. 2.1, <3, е, ж).

При ручной подаче топлива (см. рис. 10.1, *а*) паропроизводительность котла ограничена (до 1-2 т/ч). Применение механического забрасывателя (см. рис. 10.1, *б*), подающего топливо на колосниковую решетку 2, позволяет увеличить паропроизводительность котла до 6,5-10 т/ч.

Применение механической цепной решетки (см. рис. 10.3 *в*) способствует увеличению паропроизводительности котлов до 35 т/ч. Топливо из загрузочной воронки (бункера) 1 поступает самотеком на переднюю часть медленно движущегося бесконечного полотна колосниковой решетки 2. Оставшийся в результате горения шлак сыпается в шлаковый



Р и с. 10.3. Схемы топок для сжигания твердого топлива в слое:

а - ручная горизонтальная колосниковая решетка; *б* - топка с забрасывателем на неподвижный слой; *в* - топка с цепной механической решеткой; *г* - топка с механической цепной решеткой обратного хода и забрасывателем; *д* - топка с шурующей планкой; *е* - топка с наклонной колосниковой решеткой;
ж - топка системы померанцева бункер 3.

Топки с цепной решеткой применяют для сжигания сортированных неспекающихся умеренно влажных и умеренно зольных углей с высокой

температурой плавления золы и выходом летучих 10-25% на горючую массу. При сжигании топлива большой влажности (например, кускового торфа) цепную решетку комбинируют с шахтным предтопком, служащим для предварительной сушки топлива. Сортированные и несортированные каменные и бурые угли можно сжигать в топках с цепной решеткой обратного хода (см. рис.10.1, г). Колосниковое полотно решетки 2 с топливом движется от задней стенки топки к передней. Крупные частицы топлива от забрасывателя 1 попадают к концу колосниковой решетки, а мелкие - выпадают ближе к ее фронту. В итоге крупные частицы больший период времени находятся в топке, что обеспечивает лучшее выгорание топлива. Достигается также послойное фракционное распределение топлива на решетке, отчего уменьшается провал несгоревших частиц через колосниковую решетку.

Шлаковый бункер 3 размещен под передней частью топки. Для сжигания бурого угля в котлах паропроизводительностью до 6,5 т/ч применяются топки с шурующей планкой (см.рис. 2.1,д). Топливо по решетке перемещается с помощью планки, совершающей возвратно-поступательные движения. имеет шахтный предтопок, в котором происходит предварительная подсушка топлива дымовыми газами, которые засасываются в шахту специальным эжектором.

Топки с наклонной колосниковой решеткой (см. рис. 10.1, е) применяются для сжигания древесных отходов в котлах паропроизводительностью 2,5-20 т/ч, а скоростные шахтные топки системы В.В. Померанцева (см. рис. 10.1, ж) - для сжигания кускового торфа в котлах паропроизводительностью до 6,5 т/ч.

Недостатком слоевых топок является ограниченная мощность, поскольку горение происходит только на поверхности кусков топлива. Суммарная же поверхность их оказывается недостаточной для быстрого сжигания больших количеств топлива.

Камерные (факельные) топки. Топки, в которых осуществляют горение пылевидного топлива, называются камерными (факельными). Твердое топливо размалывают в тонкий порошок (пыль) в углеразмольных мельницах. Измельчение топлива до состояния порошка (пыли) позволяет сжечь его очень быстро. Измельченное топливо транспортируется в топку котла воздухом, необходимым для его сгорания.

В камерных топках сжигают также газообразное или жидкое топливо, которое предварительно распыливают в форсунках. Твердое, газообразное и жидкое топливо в камерных топках сжигают под котлами любой паропроизводительности. Разработаны котлы паропроизводительностью до 3500 т/ч. По способу удаления шлака камерные топки разделяются на топки с удалением шлака в твердом состоянии (рис. 2.2, а) и топки с жидким шлакоудалением (рис. 2.2, б, в).

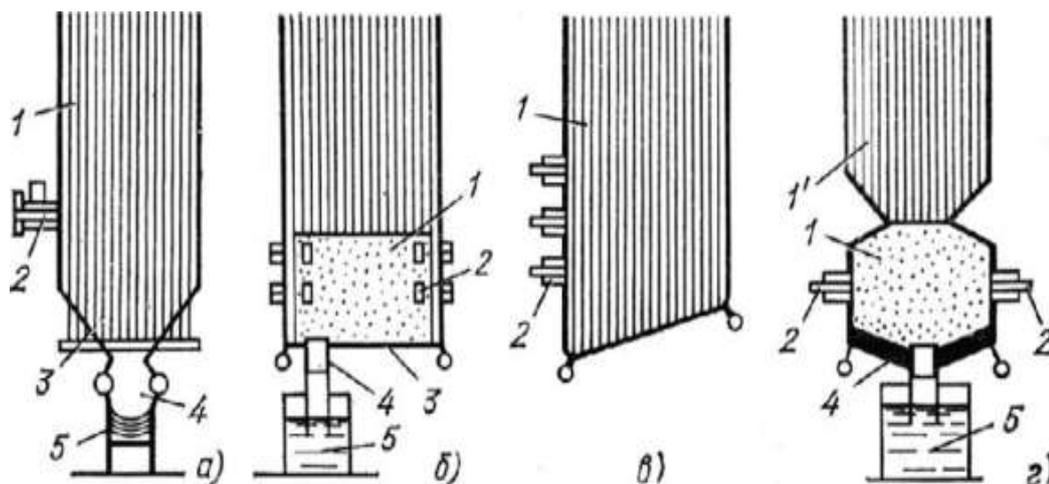


Рис. 10.3. Схемы камерных топок:

а - однокамерная топка для пылевидного топлива с твердым шлакоудалением; *б* - однокамерная топка для пылевидного топлива с жидким шлакоудалением; *в* - топка для сжигания жидкого и газообразного топлива; *г* - топка с полуоткрытой топочной камерой (двухкамерная топка) для сжигания пылевидного топлива.

При твердом шлакоудалении камера топки снизу заканчивается «холодной» шлаковой воронкой 3, стены которой покрыты экранными трубами, благодаря чему температура газов здесь низкая. Капли шлака

затвердевают в гранулы (зерна) и через горловину 4 падают в шлакоприемное устройство 5 с водяной ванной для охлаждения гранулированного шлака. Ванна играет роль гидрозатвора. Из ванны шлак отводится в систему шлакозолоудаления. 10-15% золы оседает в холодной воронке, 85-90% проходит в газоходы. Нижняя часть топки с жидким шлакоудалением «утеплена» (трубы покрыты тепловой изоляцией). Поэтому жидкий шлак, падая на горизонтальный или слегка наклонный под 3 (рис. 10.3, б, з), не затвердевает, а через летку 4 вытекает в шлакоприемную ванну 5, наполненную водой. Здесь струи шлака, затвердевая, растрескиваются и рассыпаются на стекловидные частицы. Далее шлак попадает в систему шлакозолоудаления. Температура газов в нижней части топки выше температуры текучести шлака. Крупные энергетические котлы выполняются с двухкамерными топками жидкого шлакоудаления (рис. 10.3, г): в утепленной камере I происходит горение топлива, а в камере II - охлаждение продуктов сгорания. Топки с жидким шлакоудалением применяются в основном при сжигании топлива с низким выходом летучих ($G_{л} < 25\%$), с низкой и умеренной температурой плавления золы (менее $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$), низкой и умеренной влажностью ($W^{\wedge} < 20\%$) и зольностью ($A^p < 25\%$). Однако жидкое шлакоудаление иногда применяют и при тугоплавкой золе, если она абразивна. Делают это в целях уменьшения абразивного износа поверхностей нагрева, поскольку жидкое шлакоудаление позволяет удалить через шлаковую летку 30-70% всей золы (в специальных конструкциях - до 80-90%). Камерные топки для жидкого и газообразного топлива (рис. 10.3, в) не нуждаются в устройствах для удаления шлака. Поэтому их выполняют с горизонтальным или слегка наклонным подом, который часто не экранируют. Камерные топки классифицируют также по типу горелок (с прямоточными и вихревыми горелками) и по расположению горелок в топочной камере: с горелками на передней стене (см. рис. 10.3, а, в); с горелками по углам топочной камеры (см. рис. 10.3, б); с горелками на передней и задней стенах или на боковых стенах - встречное расположение

горелок (см. рис. 10.3, з). Главным недостатком камерных топок является недожог топлива.

10.4. Циклонное сжигание и их преимущество

Циклонные (вихревые) топki. Сжигание топлива в факеле имеет тот недостаток, что частицы топлива, независимо от их размера, находятся в топочном объеме весьма ограниченное время. Вихревые циклонные топki лишены этого недостатка. К топке котла пристраивается цилиндрический предтопок-циклон *1* (рис. 10.4), в котором пылевоздушная смесь энергично закручивается по спирали вторичным воздухом, поступающим через сопла *5*. Внутренняя поверхность циклона защищена ошипованными экранными трубами, покрытыми огнеупорной набивной массой. Мелкие частицы топлива сгорают на лету в объеме предтопка.

Крупные частицы топлива центробежной силой отбрасываются на стены и полностью сгорают на пленке из жидкого шлака независимо от длительности пребывания продуктов сгорания в циклоне и скорости их перетекания в камеру дожигания (топку) *1'* через амбразуру циклона и в камеру охлаждения *3*.

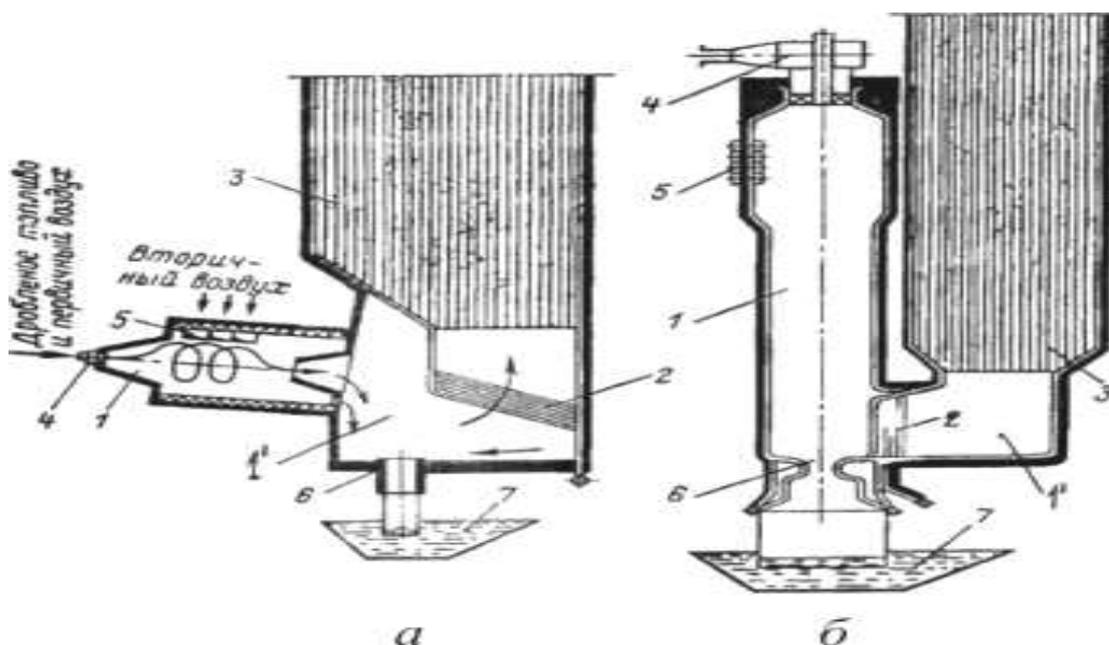


Рис.10.4. Схемы циклонных топок: а - топка с горизонтальным циклоном;

б - топка с вертикальным циклонным предтопком; *1* - камера горения (циклон); *Г* - топка (камера дожигания); *2* - шлакоулавливающий пучок; *3* - камера охлаждения; *4* - горелка; *5* - сопла вторичного воздуха; *б* - шлаковая летка; *7* - шлаковая ванна

В предтопке улавливается от 60 до 85% золы, которая в виде жидкого шлака удаляется через летку б. Таким образом, одним из преимуществ циклонных топок по сравнению с факельными является высокая степень шлакоулавливания. Недостатком циклонных топок является высокий напор дутьевых вентиляторов, необходимый для создания скорости вторичного воздуха, достигающей 120 м/с.

Примеры решения задач по теме

Задача .1. Плоская стенка выполнена из шамотного кирпича толщиной 250 мм. Температура ее поверхностей:

$$T_1 = 1350^\circ\text{C}, \quad T_2 = 50^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплопроводности шамотного кирпича является функцией температуры:

$$\lambda = 0.838(1 + 0.0007 \cdot T) \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}),$$

где *T* - температура в градусах Цельсия. Найти формулу, описывающую распределение температуры в стенке и плотность теплового потока через эту стенку.

Решение. Т.к. перепад температур большой, коэффициент теплопроводности нельзя считать константой. Запишем закон Фурье: $q = -\lambda dT/dx$, где $\lambda = \lambda_0(1 + \beta T)$. Разделим переменные:

$$q dx = -\lambda_0(1 + \beta T) dT$$

и проинтегрируем:

$$qx = -\lambda_0 T - \lambda_0 \beta T^2 / 2 + C. \quad (1.1)$$

При $x = 0$ температура $T = T_1$, из этого условия находим константу интегрирования:

$$C = \lambda_0 T_1 + \lambda_0 \beta T_1^2 / 2. \quad (1.2)$$

При $x = L$ температура $T = T_2$, из этого условия находим плотность теплового потока:

$$qL = -\lambda_0 T_2 - \lambda_0 \beta \frac{T_2^2}{2} + C = \lambda_0 (T_1 - T_2) + \lambda_0 \beta \frac{(T_1^2 - T_2^2)}{2} = \lambda_0 (T_1 - T_2) \left[1 + \beta \frac{T_1 + T_2}{2} \right]. \quad (1.3)$$

Обозначим: $\lambda_{cp} = \lambda_0 \left[1 + \beta \frac{T_1 + T_2}{2} \right]$ (это значение коэффициента теплопроводности при средней температуре): $\lambda_{cp} = 0.838 \cdot (1 + 0.0007 \cdot 700) = 1.25$ Вт/(м·К). Тогда

$$q = \frac{(T_1 - T_2)}{L / \lambda_{cp}} = \frac{1350 - 50}{0.25 / 1.25} = 6500 \text{ Вт/м}^2.$$

Вид зависимости $T(x)$ качественно можно найти из закона Фурье, рассуждая следующим образом. В стационарном режиме $q = -\lambda \text{grad}T = \text{const}$; при высокой температуре коэффициент теплопроводности выше, значит градиент температуры должен быть ниже; при низкой температуре наоборот. Поэтому примерный вид этой функции должен быть таким, как показано на рисунке.

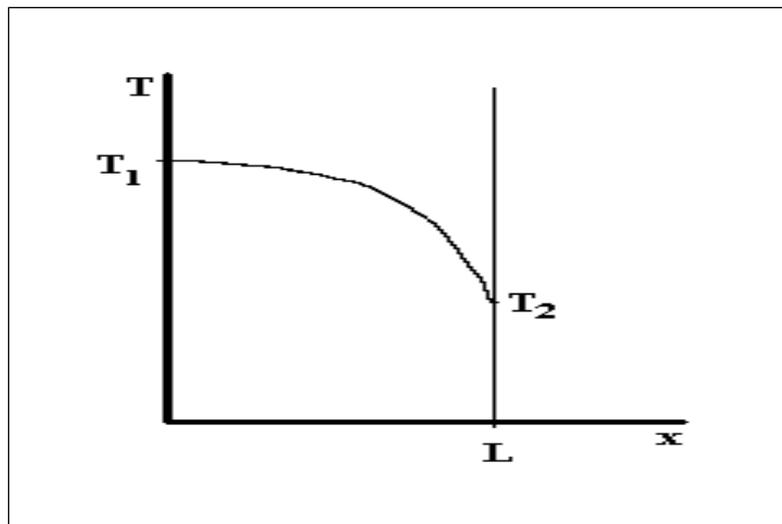


Рис.10.4. Примерный вид функции

Точную формулу, описывающую распределение температуры в стенке, получим из уравнения (8.1), рассматривая его как квадратное уравнение относительно температуры T и считая константы C и q известными:

$$T^2 + \frac{2}{\beta}T + \frac{2q}{\lambda_0\beta}x - \frac{2C}{\lambda_0\beta} = 0.$$

Отсюда

$$T = -\frac{1}{\beta} + \sqrt{\frac{1}{\beta^2} + \frac{2C}{\lambda_0\beta} - \frac{2q}{\lambda_0\beta}x},$$

где знак "минус" перед корнем отброшен в соответствии с физическим смыслом задачи. Замечая, что

$$\frac{1}{\beta^2} + \frac{2C}{\lambda_0\beta} = \frac{1}{\beta^2} + T_1^2 + \frac{2T_1}{\beta} = \left(\frac{1}{\beta} + T_1\right)^2,$$

получаем окончательную формулу для функции $T(x)$:

$$T(x) = \sqrt{\left(\frac{1}{\beta} + T_1\right)^2 - \frac{2q}{\lambda_0\beta}x} - \frac{1}{\beta}. \quad (1.4)$$

Контрольные вопросы

- 1- Промышленные печи основное, каким топливе работают?
- 2- Для чего измельченное твердое топливо используются в печах?
- 3-Как подвергается твердое топливо химической переработке в горючий газ?
- 4-Зачем твердое топливо сжигается под котлами тепловой электрической станции?
- 5- Электрической энергии с сохранением или с повышением частоты тока сколка Гц будет?
- 6-Зачем в выработанная электроэнергия многократно трансформируется

ГЛАВА.11. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГОРЕНИЯ ТВЕРДОТОПЛИВЫ

11.1-Применимые твердых топлив в высокотемпературных печах.

Промышленные печи работают на природном газе, на искусственных горючих газах, на жидком топливе (мазуте), на пылевидном и твердом топливах. Современные доменные печи, как было указано, работают на каменноугольном коксе. В былое время они работали на древесном угле. На других видах твердого топлива доменные печи работать удовлетворительно не могут по своему принципу действия они являются: шахтными печами со слоевым сжиганием кокса, но в современных печах для экономии дорогого кокса и для улучшения технологического процесса одновременно с коксом сжигается природный газ или мазут.

Мартеновские сталеплавильные печи наиболее эффективно работают на мазуте, а также на природном или других высококалорийных газах. По своему устройству они не могут работать на кусковом твердом топливе. Следует отметить, что в Россия и в США имеется опыт работы небольших мартеновских печей с пылеугольным отоплением, но из-за трудностей эксплуатации пылеугольное отопление мартеновских печей распространения не получило.

11.2-Различные схемы использования твердого топлива в печах

Из приведенных примеров видно, что есть печи, которые по своей конструкции и по принципу действия могут работать только на переделенных видах топлива. Как правило, если печь работает на мазуте, то она может работать и на высококалорийном газе. Печи для обжига строительного кирпича, черепицы и другой керамики работают чаще всего на твердом топливе. В других случаях печи могут хорошо работать на разных топливах. В таких случаях вопрос выбора топлива определяется технико-

экономическими соображениями или возможностями снабжения, топливом данного предприятия. Рассмотрим общие схемы использования твердого топлива, представленные на рис.11.1



Рис: 11.1. Общие схема сжигания в слоевых топках

представленные на рис.11.1 по первой схеме природное твердое топливо непосредственно используется в печи путем сжигания в слоевых топках. Перед сжиганием оно подвергается механической переработке или какой либо другой подготовке, позволяющей увеличить степень использования его в печи: сушке, дроблению, грохочение и пр.

Так, например, при использовании дров целесообразно организовать естественную сушку их в теплое время года, создав для этого необходимый запас дров, и снижать их влажность с 50-55% (влажность свежесрубленной древесины) до 25-35%. Практика показала, что искусственная сушка дров является сложной, дорогостоящей, а поэтому нецелесообразной. В отдельных случаях практикуется разделка древесины на щепу при помощи специальных машин (чиперов) с последующей искусственной сушкой щепы теплом дымовых газов, уходящих от печи.

11.3- Общие схемы использования твердого топлива

В отдельных случаях измельченное твердое топливо смешивается с обжигаемым продуктом. Это топливо в процессе обжига выгорает. Количество тепла, выделяемого при этом, достаточно для быстрого нагрев

продукта. Такой способ широко применяется при производстве строительных материалов: строительного глиняного кирпича, цементного клинкера и пр. По второй схеме каменноугольное топливо, после предварительной подсушки и дробления подвергается более глубокой механической переработке – размолу в мельницах, после чего угольная пыль сжигается в печи при помощи пылеугольных горелок.

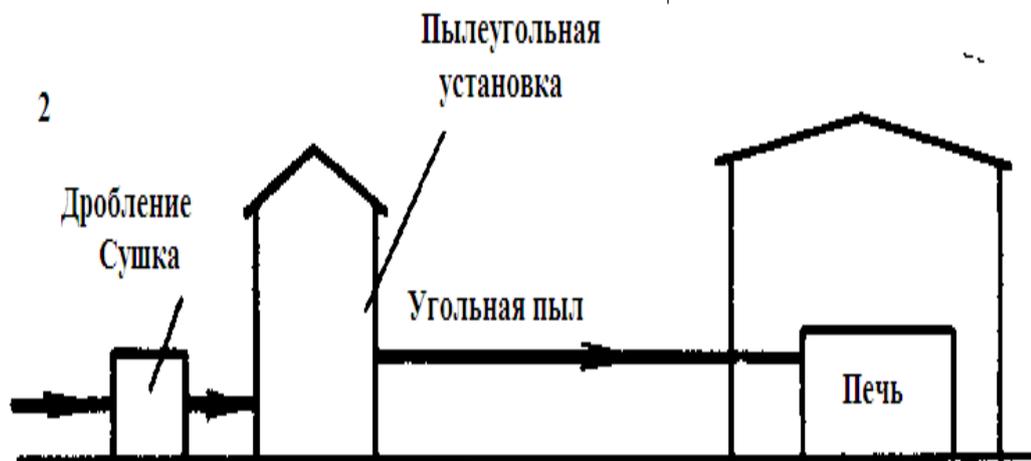


Рис: 11.2. Общие схема сжигания в слоевых топках

11.4- Применение твердое топливо под тепловой котлами

По третьей схеме твердое топливо подвергается химической переработке в горючий газ (газификации, полукоксования, коксованию).

К такой переработке приходится прибегать при необходимости применят низкосортное или влажное топливо, так как при непосредственном сжигании таких топлив в печах невозможно достигнуть требуемых высоких температур. Кроме того, при газовом отоплении можно освободиться от большого штата истопников-кочегаров (что особенно важно при разбросанности печей в цехах), легко автоматизировать процессы, улучшить гигиену труда, повысить общую техническую культуру предприятия.

Однако нужно считаться с тем, что с самой переработкой в газ связаны потери тепла (в среднем 30%), и поэтому при большом концентрированном

потреблении топлива иногда целесообразнее, отказавшись от предварительной переработки твердого топлива в газообразное, сжигать его непосредственно в печах.

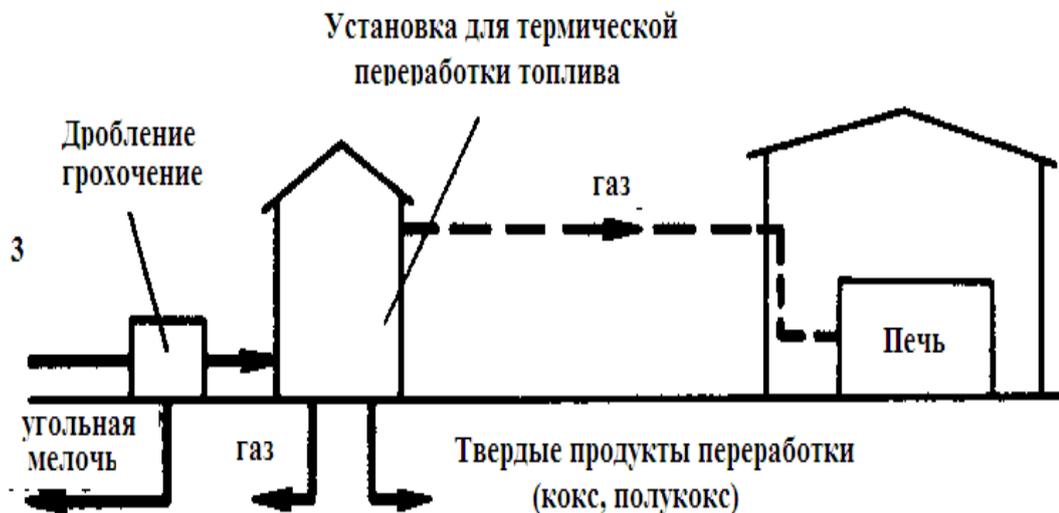


Рис: 11.3. Схема твердое топливо подвергается химической переработке в горючий газ

По четвертой схеме твердое топливо сжигается под котлами тепловой электрической станции. Часть химической энергии топлива в результате сложного процесса превращается электрическую энергию, которая используется в электрической печи.

Выработанная электроэнергия многократно трансформируется: сначала напряжение повышается для передачи на большое расстояние до районной понизительной подстанции, затем снова понижается (до 380-500 в и более) и с этим напряжением электроэнергия подводится к электрическим печам. Принципиальные схемы электрических печей рассмотрены ниже.

В зависимости от типа печи возможна дополнительная трансформация электрической энергии с сохранением или с повышением частоты тока с 50 до 10000 Гц и более (при индукционном нагреве).

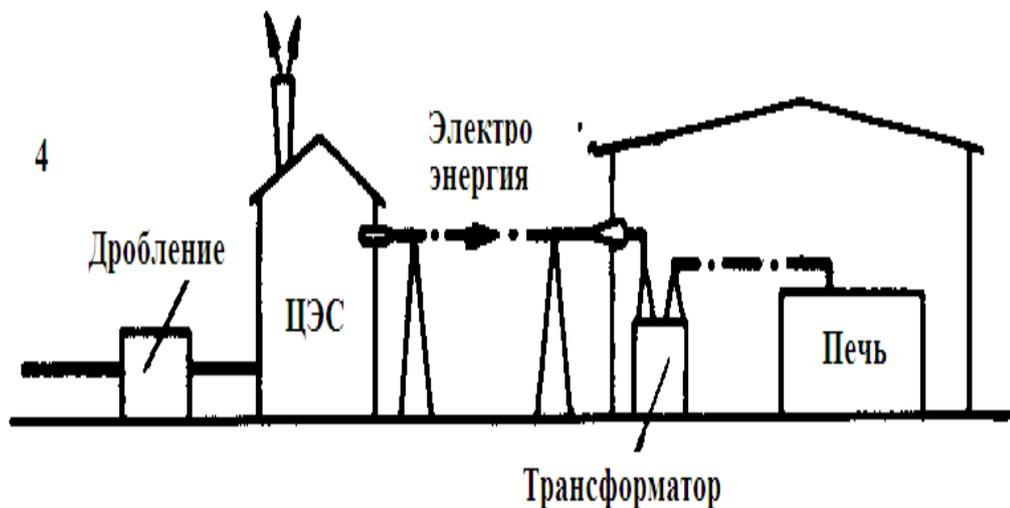


Рис: 11.4. Превращение твердую топливу в электрическую энергию

11.5. Газификация твердых топлив

Процесс газификации заключается в полном превращении твердого топлива под воздействием кислорода в горючий газ. Кислород может вводиться в свободном состоянии (воздух, кислород, воздух, обогащенный кислородом) или же в виде пара или газа, содержащего кислород (водяной пар, углекислый газ).

В отличие от процесса сухой перегонки твердого топлива, при котором только небольшая часть органической массы переходит в газ и смолу, а основным продуктом является твердый остаток (кокс, полукокс), при газификации твердого топлива вся горючая часть (за вычетом потерь) превращается в газ и жидкие горючие продукты без остатка, за исключением золы или шлака.

Процесс газификации осуществляется в аппаратах, называемых газогенераторами (рис.6). Газогенератор представляет собой металлическую шахту, футерованную внутри огнеупорным кирпичем. Нижняя часть шахты, называемая фартуком, погружена в металлическую вращающуюся чашу, заполненную во время работы водой. Вода в этом случае служит

гидравлическим затвором, отключающим внутреннее пространство газогенератора от наружного атмосферного воздуха. К чаше жестко прикрепляется колосниковая решетка, в которой поступающее снизу дутье распределяется по сечению газогенератора и подводится к слою топлива. Топливо в газогенератор загружается сверху через загрузочный люк. Слой топлива и шлака опирается на колосниковую решетку и на поддон –дно чаши. Образующиеся в процессе газификации зола и шлак при вращении чаши автоматически удаляются. По мере протекания процесса топливо постепенно спускается вниз, а на его место поступают новые порции.

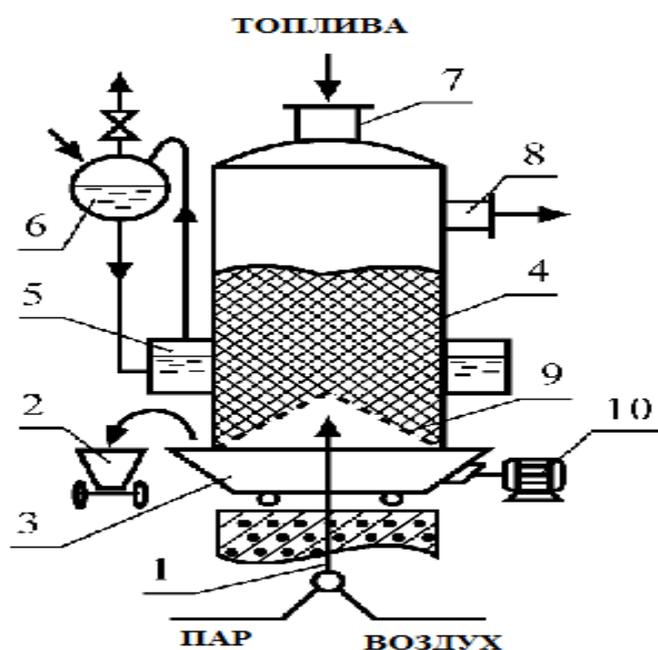


Рис. 11.5 Схема полумеханизированного газогенератора:

1 – паровоздушное дутьё; 2 – вагонетка для удаления шлака;
 3 – вращающаяся чаша; 4 – шахта газогенератора; 5 – рубашка для охлаждения; 6 – барабан испарительного контура; 7 – загрузка топлива; 8 – отвод генераторного газа; 9 – колосниковая решётка; 10 – привод вращающейся чаши

Образующийся генераторный газ, собирающийся в верхней части над слоем топлива, отводится по выводному патрубку. Для наблюдения за работой газогенератора, дробления шлаков и разравнивания слоя топлива пред- усматриваются специальные шуровочные отверстия.

По характеру протекающих процессов в газогенераторе различают пять зон (рис. 11.5): I – зона подсушки топлива, II – зона сухой перегонки, III – зона восстановления, IV – кислородная (окислительная) зона и V – зона шлака. Первые две образуют зону подготовки топлива, а третья и четвертая – зону газификации.

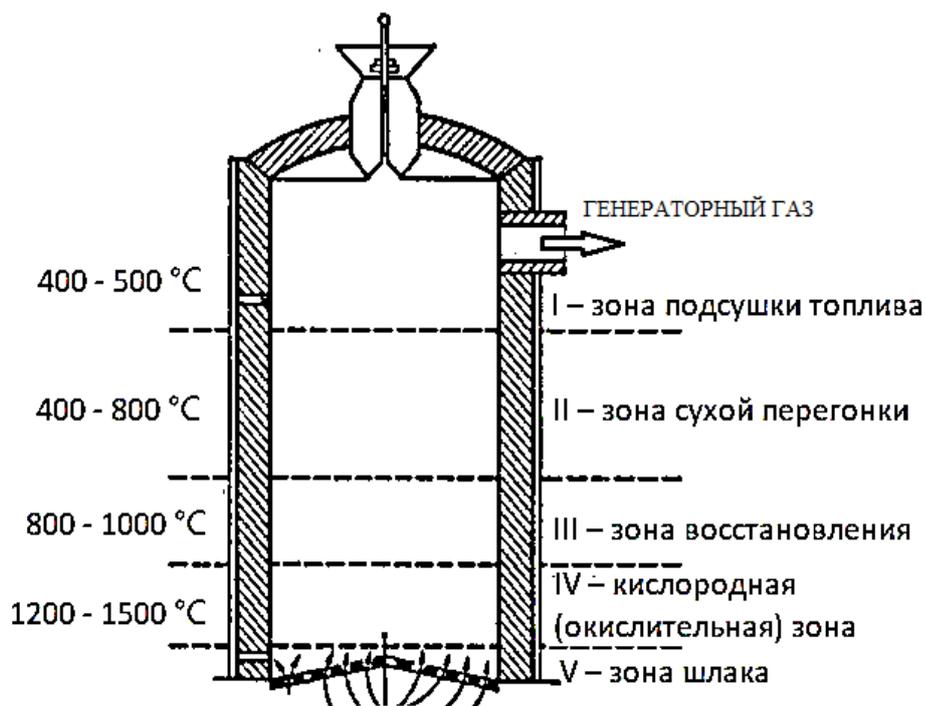


Рис. 11.6. Процессы образования газов в слое топлива

Поступающее в газогенератор дутье проходит сначала слой шлака, при этом незначительно нагреваясь (зона V). Затем кислород дутья поступает к поверхности раскаленного кокса и вступает в реакцию с углеродом. Продуктами реакции являются CO_2 и CO одновременно, причем количество выделившегося CO_2 обычно больше; реакция протекает с выделением большого количества тепла. В конце кислородной зоны (IV) по мере расходования последних долей кислорода начинают протекать восстановительные процессы. При дальнейшем движении газов вверх восстановление CO_2 и H_2O интенсивно продолжается и к концу восстановительной зоны количество CO_2 и H_2O (если с воздухом подается пар) становится небольшим. Кислородная и восстановительная зоны взаимно

связаны как зоны, в которых образуются основные горючие компоненты генераторного газа – CO и H₂.

В выходящем из зоны газификации газе, кроме указанных компонентов, содержится значительное количество азота из воздуха, H₂O и CO₂. Эти газы имеют высокую температуру, в их составе отсутствует кислород, поэтому при дальнейшем движении вверх они нагревают опускающиеся куски топлива и производят их сухую перегонку с выделением паров смолы, воды, неконденсирующихся горючих и негорючих газов и твердого углистого остатка. Поднимаясь выше, газы, имеющие достаточную температуру, вместе с летучими продуктами разложения подсушивают топливо с выделением из него водяных паров.

Таким образом, процесс образования газа в газогенераторе является зональным процессом. Однако четкого разграничения отдельных зон нет: отдельные зоны частично проникают друг в друга и совмещаются.

Температура по высоте слоя топлива непрерывно изменяется: в кислородной зоне она максимальна и по мере увеличения высоты слоя будет снижаться. Количество газов и паров по мере перехода от кислородной зоны к надслойному пространству непрерывно возрастает.

Контрольные вопросы

- 1- Промышленные печи основное, каком топливе работают?
- 2- Для чего измельченное твердое топливо используются в печах?
- 3-Как подвергается твердое топливо химической переработке в горючий газ?
- 4-Зачем твердое топливо сжигается под котлами тепловой электрической станции?
- 5- Электрической энергии с сохранением или с повышением частоты тока сколько Гц будет?
- 6-Зачем в выработанная электроэнергия многократно трансформируется

ГЛАВА 12. ГОРЕЛКИ НА ГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ.

12.1. Классификация и типы газовых горелок

Газовые горелки — теплогенерирующие устройства, служащие для превращения химической энергии газообразного топлива в тепловую, для образования горючей газозвушной смеси и обеспечения ее равномерного сгорания. В зависимости от способа смешения газа с воздухом горелки подразделяются на две основные группы: внешнего смешения (диффузионные) и внутреннего смешения (инжекционные).

Наряду с горелками, предназначенными только для сжигания газа, существуют еще комбинированные горелки для различных видов топлива (твердого, жидкого, газообразного).

Диффузионные горелки (рис. 12.1 *а, б*) бывают с естественной и искусственной (принудительной) подачей воздуха. В первых воздух подается из окружающей среды, во вторых — вентилятором. В этих горелках газ смешивается с воздухом в камере сгорания за счет диффузии. Газ, выходящий из отверстия горелки, создает разрежение и способствует поступлению воздуха из окружающей среды. Строение пламени представляет собой конус в виде удлиненного факела. Смешение газа с воздухом происходит на поверхности факела, а внутри факела находится газ (практически чистый углерод), не участвующий в процессе горения. При этом во время сгорания образуется высокое пламя соломенного цвета, которое горит с потрескиванием и с проблесками. Происходит химическая неполнота сгорания газа, меньше выделяется тепла, больше — вредных веществ. Длинный факел требует определенной высоты камеры сгорания. Поэтому диффузионные горелки практически не применяются.

Инжекционные горелки (рис. 12.1, *в, г*) являются горелками внутреннего смешивания с естественной и принудительной подачей воздуха.

В них воздух засасывается (инжектируется) из атмосферы струей газа, вытекающего из сопла, перед которым он имеет определен-

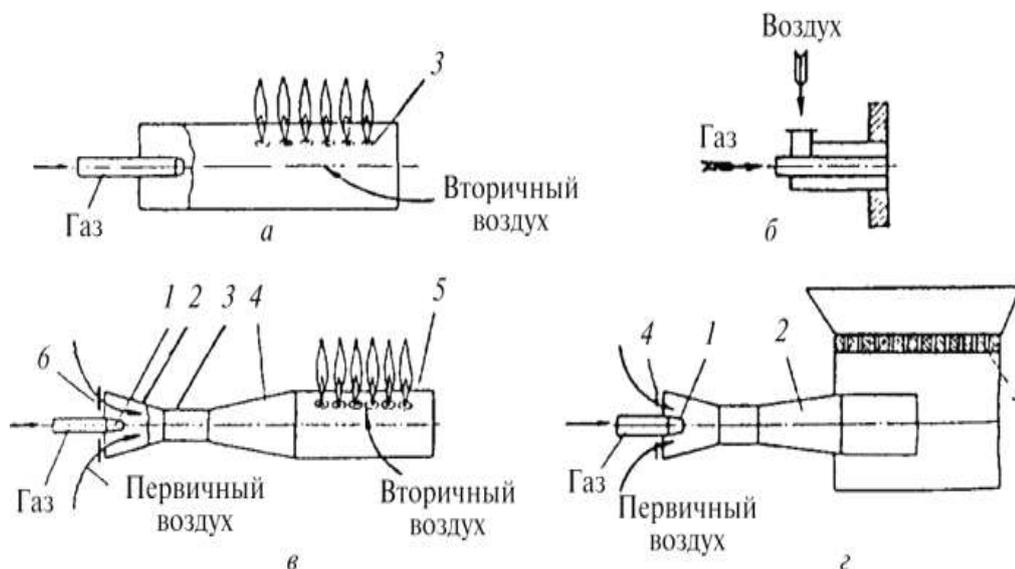


Рис. 12.1- Принципиальные схемы газовой диффузионных и инжекционных

горелок: *а* — диффузионная горелка с естественной подачей воздуха в камеру; *б* — диффузионная горелка с принудительной подачей воздуха в горелку; *в* — инжекционная факельная горелка; *г* — инжекционная беспламенная горелка

Газ с избыточным давлением (1,0—1,5 кПа) выходит из сопла в смеситель, подсасывает в него определенное количество воздуха из окружающей среды и смешивается с ним. Подсасываемый воздух называется *первичным* и его количество составляет от 30 до 70 % необходимого для полного сгорания газа. Недостающее количество воздуха, так называемый ***вторичный*** воздух, поступает в камеру сгорания вследствие разрежения в ней.

Преимущество инжекционных газовых горелок в простоте изготовления и обслуживания. Они не требуют дополнительного расхода энергии для подачи воздуха, пламя у них сравнительно более короткое, а температура горения газа более высокая, чем у диффузионных горелок. Это позволяет применять их для обогрева наплитной посуды открытым пламенем. К

достоинствам инжекционных горелок можно отнести способность сохранять пропорциональность газа и воздуха при изменении подачи газа в горелку. Инжекционные горелки работают с высоким КПД как при изменении давления газа в сети, так и при регулировании теплового режима.

Количество первичного воздуха зависит от давления газа, поступающего к соплу: если давление газа растет, то и количество первичного воздуха возрастает; оно может оказаться достаточным для полного сгорания топлива, и поступления вторичного воздуха не потребуется. Это имеет место в *беспламенных* инжекционных горелках (рис. 15.2, г), в которых горение протекает без видимого пламени.

Устройство инжекционной газовой горелки. Горелка (рис. 12..2, в) состоит из следующих основных частей: газового сопла 1, смесительной трубки, в свою очередь состоящей из смесителя-инжектора 2; цилиндрической части 3 диффузора 4 насадки 5 и регулятора подачи первичного воздуха 6.

Газовое сопло характеризуется размером диаметра, который должен быть в строгом соответствии с расчетными данными, так как от диаметра зависит тепловая производительность горелки. Диаметр сопла придает вытекающей струе газа определенную форму и направление. На выходе из сопла потенциальная энергия (статическое давление) газа переходит в кинетическую энергию. Чем больше кинетическая энергия газа на выходе из сопла, тем больше разрежение в смесителе-инжекторе и доля первичного воздуха.

Смеситель-инжектор горелки, выполненный в виде конуса, служит для смешивания газа с первичным воздухом, т. е. для получения однородной газозвушной смеси. Сужение конуса способствует ускорению газовой струи, вытекающей из сопла, что обеспечивает устойчивый подсос первичного воздуха.

Цилиндрическая часть горелки служит для смешивания потоков и выравнивания скоростей движения газа и воздуха.

Диффузор предназначен для перехода кинетической энергии смеси в статическое давление, что необходимо для преодоления сопротивления на выходе из насадки.

12.2. Регулятор подачи первичного воздуха

Регулятор подачи первичного воздуха (воздушно-регулирующая шайба) позволяет изменять количество первичного воздуха, поступающего в смеситель-инжектор. **Насадка** горелки предназначена для равномерной подачи газозадушной смеси к выходным отверстиям. Насадка может иметь различную форму; ее конфигурация, как правило, соответствует форме обогреваемой поверхности или размерам топки, что в основном и определяет название горелки (трубчатые, факельные, кольцевые, конфорочные и беспламенные).

У **трубчатой** горелки насадка в виде трубки с отверстиями. Применяется, например, у горелок жарочных шкафов бытовых плит. **Кольцевых** (разновидность трубчатых) горелок трубчатая насадка в виде окружности с радиальными ответвлениями, например у кипятильников и водонагревателей. Расположение отверстий по окружности насадки позволяет равномерно распределить тепло в объеме топки, а большое количество отверстий дает возможность получения факела малой высоты.

Факельные горелки имеют насадку в виде цилиндрической трубки с конусом на конце, применяются для газификации твердотопливных плит.

Конфорочные горелки (с рассекателем для инъекции вторичного воздуха) применяются для обогрева конфорки бытовых плит.

Все более широко применяются **беспламенные** инжекционные горелки (рис. 12.2.) у которых в отличие от факельных газ сгорает тонким слоем на поверхности излучающей насадки (без видимого факела). Такое сжигание возможно благодаря тому, что в качестве первичного воздуха у беспламенных горелок инжектируется весь воздух, необходимый для сгорания газа.

12.3. Беспламенные инжекционные горелки

Внутри насадки расположены керамические огнеупорные плитки с большим количеством цилиндрических каналов малого диаметра. Полностью подготовленная газовоздушная смесь

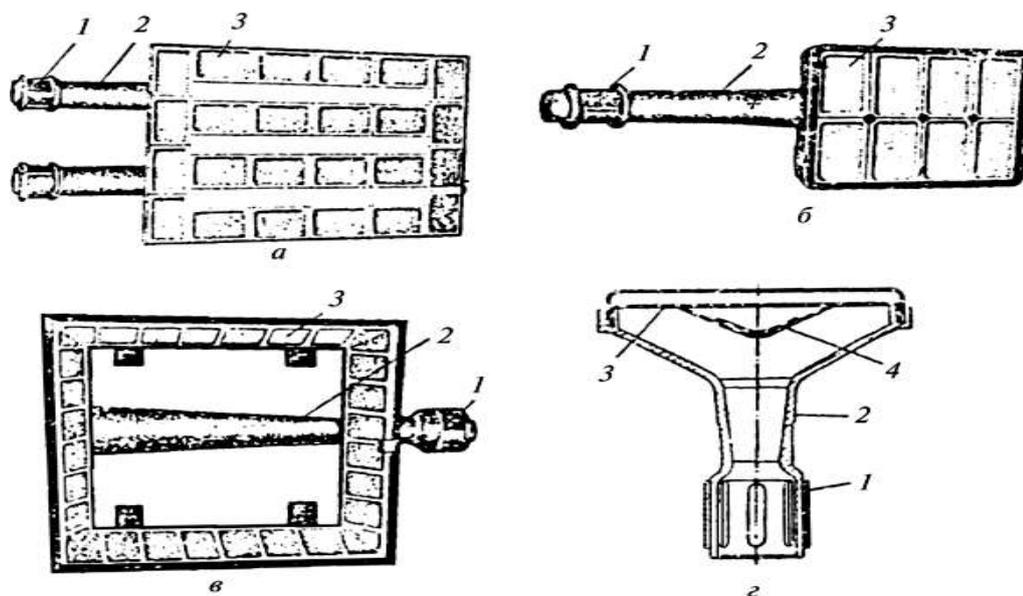


Рис. 12.2. Газовые беспламенные инжекционные горелки:

1— регулятор воздуха; 2 — смеситель; 3 — насадка; 4 — стабилизатор горения; а — блок, состоящий из двух горелок для закрытой конфорки; б — горелка для открытой конфорки; в — верхняя горелка жарочного шкафа; г — конфорочная горелка для бытовых плит с небольшим давлением и небольшой скоростью проходит через керамическую насадку и сгорает на ее поверхности тонким слоем. При этом, когда керамическая плитка нагревается до высокой температуры, она становится источником инфракрасного излучения. В беспламенных горелках вместо керамических насадок могут использоваться насадки из металлической сетки, выполненной из жаропрочного металла, например нихрома. Преимуществами таких горелок по сравнению факельными являются лучшее сгорание газа, меньшее выделение вредных веществ и возможность установки в камерах сгорания малой высоты. Недостатки: высокая чувствительность к изменениям

параметров горючего газа и потеря устойчивости в процессе работы при изменении давления газа перед соплом.

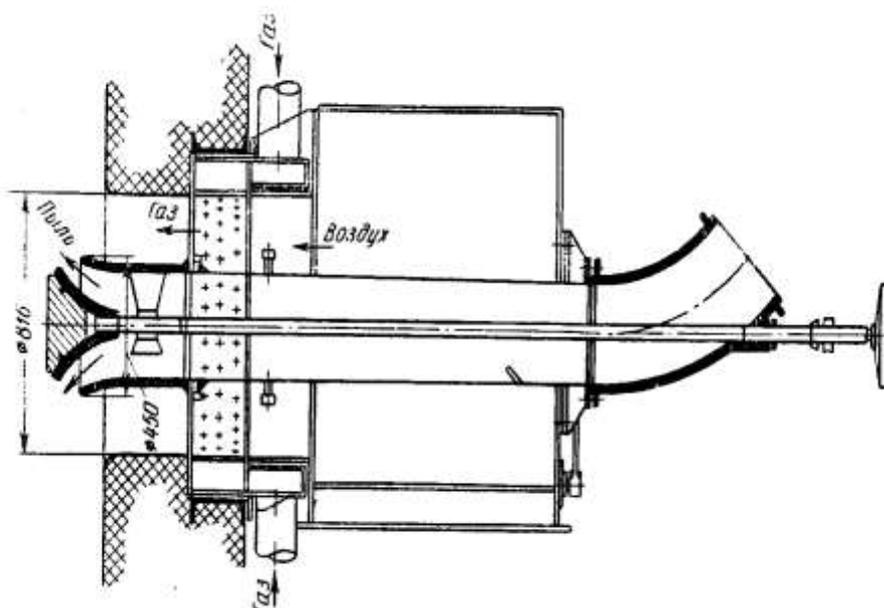


Рис. 12.3. Комбинированная пылегазовая горелка для крупных котельных агрегатов

В комбинированных горелках возможно поочередное сжигание нескольких видов топлива. Существуют горелки, рассчитанные на сжигание всех трех видов топлива — твердого, жидкого и газообразного. Более широкое распространение получили пылегазовые (мелкоизмельченное твердое топливо) и газо-мазутные горелки. Некоторые конструкции комбинированных горелок допускают совместное сжигание двух видов топлива.

Контрольные вопросы

- 1- зависимости от способа смешения газа с воздухом горелки подразделяются на сколки группы?
- 2- Как работают диффузионные горелки?
- 3- Для чего предназначены насадки горелки?
- 4- Как работают газовые беспламенные инжекционные горелки?
- 5- Какое режим и работа комбинированных горелок?

ГЛАВА.13. УСТРОЙСТВА И ГОРЕЛКА ДЛЯ СЖИГАНИЯ ЖИДКИХ ТОПЛИВ.

13.1-Горелки для сжигания жидкого топлива

Мазут подают в топки котлов подогретым; температура подогрева зависит от его вязкости и составляет для мазута М100 125°С, М200 - 140°С. Во избежание застывания мазута осуществляют его рециркуляцию по кольцевой системе мазута проводов, из которых он подводится к форсункам (горелкам). Форсунки предназначены для распыливания мазута на мельчайшие капельки, которые заполняют топочный объем и испаряются. Отсутствие крупных капель является обязательным условием эффективного сжигания мазута.

Применяют три вида форсунок: паровые, механические и форсунки с воздушным распыливанием. Форсунки с паровым распыливанием мазута применяют в качестве растопочных, а форсунки механического распыливания устанавливают на котлах, где мазут является основным топливом.

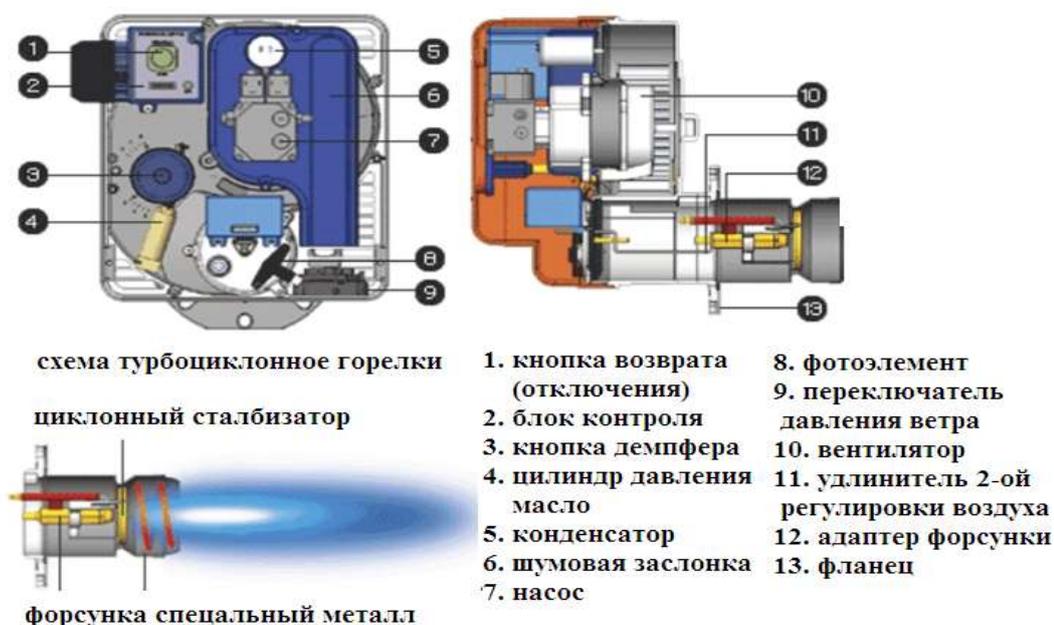


Рис: 13.1- Строение жидкотопливное горелки

13.2- Паровые форсунки

Паровые форсунки: тонкость распыливания мазута в форсунках парового и паромеханического типов зависит от того, насколько совершенно будет производиться разрыв струи жидкого топлива на капли при помощи струи пара. Тонкость распыливания зависит от скорости паровой струи: чем выше эта скорость, тем тоньше распыливание.

Повысить скорость паровой струи путем повышения давления пара не удается, так как при выходе из отверстия или из сужающегося сопла уже при давлении 1,5 ата скорость пара становится критической, равной около 400 м/с. Если паровую струю, перед тем как она будет использована на цели распыливания, пропустить через сопло Лавалья то скорость пара повысится и тем самым увеличится тонкость распыливания. Дополнительно возможно повлиять на уменьшение радиуса капли путем устройства в самой форсунке особой камеры распыливания, в которой при некотором подпоре повышается удельный вес среды распыливания.

При давлении пара ниже 10 ата дает хорошее распыливание форсунка Шухова, вывод пара для распыливания в которой осуществляется при помощи специальной щели кольцевого сечения, не создающей значительного гидравлического сопротивления. Необходимо отметить, что размер паровой щели не должен превышать 1 мм, иначе повышается, и, причем бесполезно, расход распыливающего пара до 0,3-0,5 кг пара/кг топлива.

Паровые и паромеханические форсунки дают хорошее распыливание и достаточно короткий факел, поэтому применяются в топках с небольшой глубиной. Преимуществами этих форсунок являются надежность в работе и простота эксплуатации. Отрицательной стороной парового распыливания являются снижение КПД установки на 3~4% и потеря конденсата. Добавочная вода проходит довольно сложную и дорогую водоподготовку, и ее следует экономить. Более экономичны форсунки с механическим распыливанием.

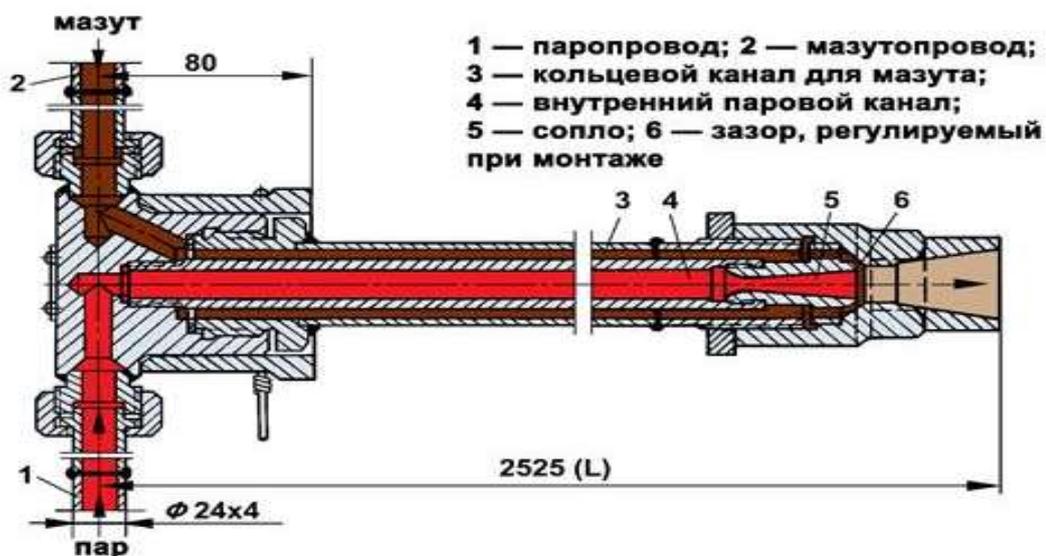


Рис: 13.2- Паровая форсунка

Форсунки можно разбить на три типа высокого давления, в которых распыление мазута осуществляется паром или сжатым (компрессорным) воздухом низкого давления, распыление в которых выполняют воздухом, подаваемым от вентилятора, и механические.

Необходимо отметить, что одной из наиболее экономичных форсунок, дающих хорошее распыливание при минимальном расходе пара ($\phi_{\text{п}} \phi = 0,2-0,3$ кг пара на 1 кг распыленного мазута), является насчитывающая десятки лет существования форсунка Данилина, в которой имеются сопло Лавалья и камера распыливания

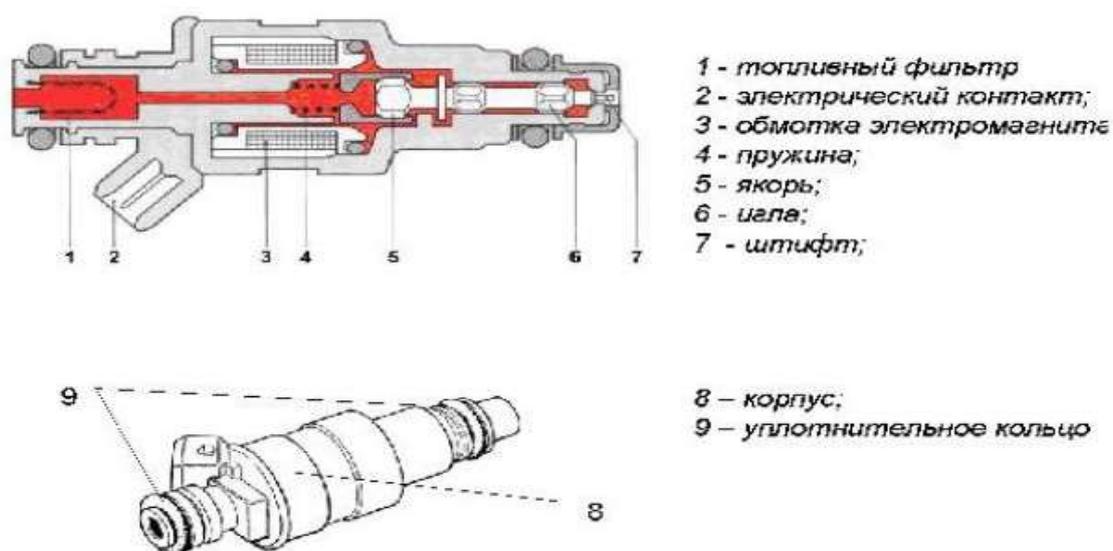


Рис: 13.3- Конструкция форсунки Данилина

Изготавливаемые в настоящее время форсунки ЦККБ (рис. 8.18) в основном повторяют эту же конструкцию. Форсунки Данилина хорошо работают при давлении пара не менее 10 ата. Причем бак жидкого топлива (мазута) располагается немного выше самой форсунки, так как струя мазута подсасывается струей пара, выходящей из сопла.

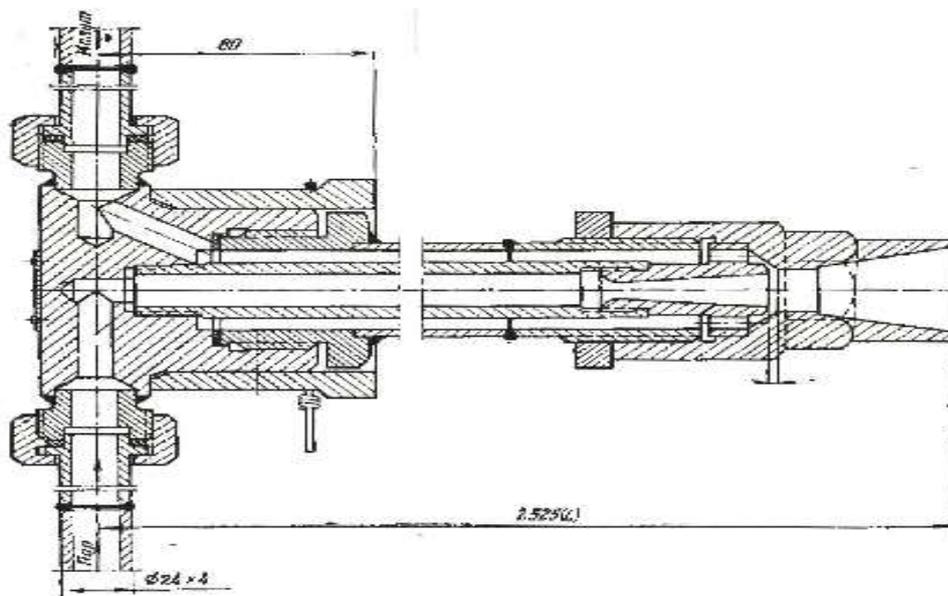


Рис. 13.4- Конструкция форсунки ЦККБ

12.3- Механические форсунки

Механические форсунки. Тонкость распыливания мазута в механических форсунках связана с размерами отверстий, их расположением в головках форсунок (пульверизаторах) и вязкостью мазута. Чем меньше эти отверстия и чем выше скорости выходящих из головок струек мазута, попадающих в среду подводимого для горения воздуха, тем тоньше получается распыливание. Оба отмеченных условия требуют значительного повышения давления мазута, подводимого к форсункам. Чтобы форсунки хорошо работали и не часто засорялись, мазут дважды тщательно фильтруют - вначале через грубые сетки, а затем через тонкие. Последние имеют весьма малые отверстия - 169 отверстий на 1 см².

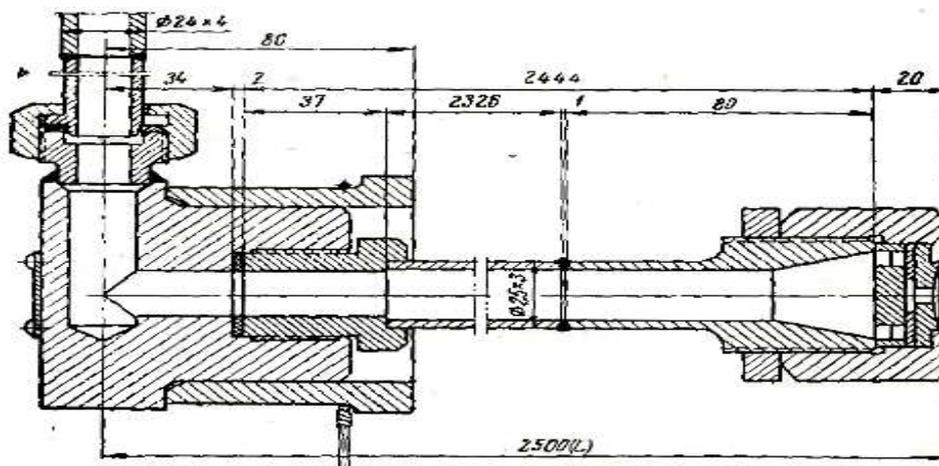


Рис: 13.5-Мазутная форсунка с механическим распыливанием

- 1 - втулка; 2 - штуцер корпуса; 3 - корпус; 4 - трубка с наконечником;
 5 - распределительный диск; 6 - завихривающий диск; 7 - насадка;
 8 - накидная гайка; 9 - контргайка; 10 - оправа

Чтобы форсунки хорошо работали и не часто засорялись, мазут дважды тщательно фильтруют - вначале через грубые сетки, а затем через тонкие. Последние имеют весьма малые отверстия - 169 отверстий на 1 см². Качество мазута должно соответствовать ГОСТ 10585-99.

Производительность мазутной форсунки механического распыливания при пониженном относительно номинального давлении (3,5МПа) определяется по соотношению форсунки механического распыливания. Таким образом, диапазон регулирования форсунок механического распыливания составляет 100—60%. Такой диапазон не соответствует требованиям нормальной эксплуатации котлов, и поэтому их производительность приходится регулировать путем отключения части горелок. Этот способ имеет свои недостатки с одной стороны, он затрудняет работу с малыми избытками воздуха, а с другой стороны, приводит к необходимости охлаждать отключенные горелки. Поэтому появилась тенденция к повышению давления мазута до 6,0—10,0 МПа

Контрольные вопросы

- 1-Для чего мазут подают в топку котлов подогретым - видь?
- 2-Сколка градусов будет подогретое мазут?
- 3- Какой режим и работа, паровые форсунки?
- 4- Для чего мазут дважды тщательно фильтруют?

ГЛАВА.14. СПОСОБЫ НАГРЕВА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА.

14.1-Электрические печи сопротивления

Электрическая печь сопротивления, электрическая печь в которой тепло выделяется в результате прохождения тока через проводники с активным сопротивлением. Электрические печи сопротивления широко применяются при термической обработке, для нагрева перед обработкой давлением, для сушки и плавления материалов. Распространение электрических печей сопротивления определяется их достоинствами: возможностью получения в печной камере любых температур до 3000°С; возможностью равномерного нагрева изделий путём соответствующего размещения нагревателей по стенкам печной камеры или применением принудительной циркуляции печной атмосферы; лёгкостью автоматического управления мощностью, а следовательно, и температурным режимом печи; удобством механизации и автоматизации печей, что облегчает работу персонала и включение печей в автоматические линии; хорошей герметизацией и проведением нагрева в вакууме, защитной (от окисления) газовой среде или специальной атмосфере для химико-термической обработки (цементация, азотирование); компактностью и пр. Наиболее распространённым видом электрических печей являются электропечи сопротивления (ЭПС), т. е. печи, в которых электрическая энергия превращается в теплоту в твердых или жидких телах при протекании через них тока. Практически во всех отраслях народного хозяйства ЭПС применяются для нагрева, термической и химико-термической обработки, пайки, обжига, сушки, спекания различных металлических, керамических и других изделий, а также для плавки цветных металлов.

Наибольшее распространение ЭПС получили в машиностроении: для отжига, нормализации, нагрева под закалку, отпуска, старения, нагрева под горячую деформацию (ковку, штамповку, прокатку), газовой цементации,

азотирования, нитроцементации, аустенизации и т. д. Большое применение ЭПС нашли в химической и строительной промышленности: для производства монокристаллов, синтетического волокна, пластмасс, синтетических смол, вулканизации резины, производства стекла, электроподогрева бетона и т. д., в электронной промышленности — для изготовления электронных приборов, в пищевой промышленности— для хлебопечения, сублимации различных продуктов.

Электрические печи сопротивления делятся на печи косвенного действия, в которых электрический ток протекает по нагревательным элементам, выделяя в них теплоту, передающуюся нагреваемым изделиям излучением, конвекцией, теплопроводностью, и на печи прямого действия (установки электроконтактного нагрева), в которых ток протекает непосредственно через нагреваемые тела, благодаря чему в них выделяется теплота. В вакуумных печах теплопередача осуществляется только излучением; в большинстве же печей косвенного действия теплопередача осуществляется одновременно излучением и конвекцией, при этом в печах с температурой выше 700°C преобладает излучение, в низкотемпературных печах и в печах с принудительной циркуляцией атмосферы—конвективная теплопередача. В печах с жидким теплоносителем, в который погружены нагреваемые изделия, теплота передается конвекцией и теплопроводностью.

В этих печах сам жидкий теплоноситель может нагреваться благодаря протекающему через него току или от нагревательных элементов, погруженных в жидкость (ванны с внутренним обогревом) или находящихся за тиглем с жидкостью (ванны с внешним обогревом).

14.2-Классификация печей нагрева сопротивлением по технологическому назначению

По технологическому назначению печи сопротивления косвенного нагрева можно разделить на три группы: 1) термические печи для различных видов

термической и термохимической обработки черных и цветных металлов, стекла, керамики, металлокерамики, пластмасс и других материалов;

2) плавильные печи для плавки легкоплавких цветных металлов и химически активных тугоплавких металлов и сплавов;

3) сушильные печи для сушки лакокрасочных покрытий, литейных форм, обмазок сварочных электродов, металлокерамических изделий, эмалей и т. п.

Большая часть электрических печей сопротивления — косвенного действия; в них электрическая энергия превращается в тепловую при протекании тока через нагревательные элементы и передаётся нагреваемым изделиям излучением, конвекцией либо теплопроводностью. Печь состоит из рабочей камеры, образованной футеровкой из слоя огнеупорного кирпича, несущего на себе изделия и нагреватели и изолированного от металлического кожуха теплоизоляционным слоем (рис. 14.1).

Работающие в камере печи детали и механизмы, а также нагревательные элементы выполняются из жаропрочных и жароупорных сталей и других жароупорных материалов. Для нагрева больших партий одинаковых деталей применяют печи непрерывного действия (методические), в которых изделия непрерывно перемещаются от одного торца к другому. Производительность таких печей больше, нагрев изделий более однороден, расход энергии меньше; как правило, они в высокой степени механизированы. В электрических печах сопротивления с рабочими температурами до 700°C (как периодического действия, так и в методических) широко используется принудительная циркуляция газов с помощью вентиляторов, встраиваемых в печь или вынесенных из печи вместе с нагревателями в электрокалориферы.

14.3-Промышленные электропечи сопротивления

Электрические печи сопротивления косвенного действия для расплавления легкоплавких металлов (свинец, баббит, алюминиевые и

магниевого сплава) конструируются либо в виде печей с металлическим тиглем и наружным обогревом, либо в виде отражательных печей с ванной и расположенными над ней в своде нагревателями. К лабораторным электрическим печам сопротивления относятся небольшие трубчатые, муфельные и камерные печи, а также термостаты и сушильные шкафы. В печах прямого действия изделие (пруток, труба) непосредственно нагревается протекающим через него током (рис. 14.2), что позволяет сосредоточить в нём большую мощность и обеспечить очень быстрый нагрев (секунды, доли минуты).

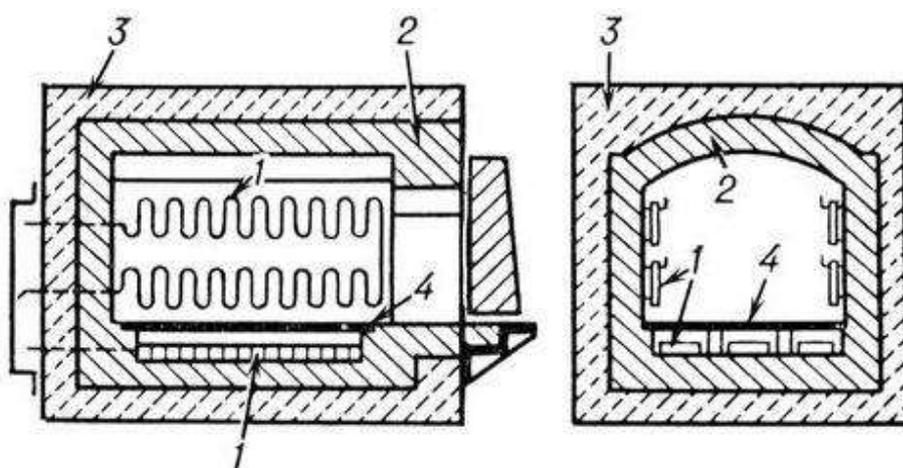


Рис. 14.1-Схема устройства камерной печи сопротивления периодического действия:

- 1 - нагревательные элементы; 2 - огнеупорная часть кладки;
- 3 - теплоизоляция; 4 - жароупорная подовая плита.

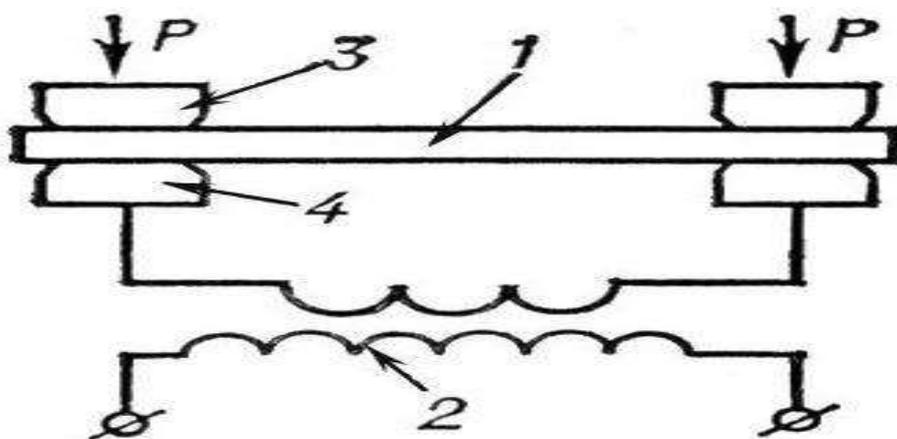


Рис.14.2- Схема устройства печи сопротивления прямого действия:

- 1 - нагреваемое изделие; 2 - понижительный трансформатор; 3, 4 - контакты.

Почти все промышленные и лабораторные печи снабжаются автоматическим регулированием температурного режима. Электropечи сопротивления являются наиболее распространенным видом электрических печей, они применяются для нагрева различных изделий и плавки металлов.

14.4-Рабочая камера электropечей

Промышленные электropечи сопротивления предназначены для проведения термической обработки металлов в окислительной атмосфере, для термообработки (нагрев, закалка, обжиг), для нормализации металлических изделий, полимеризации, химико-термической обработки, плавки чугуна и пайки металлов, термообработки изделий из керамики, фарфора, стекла и других материалов.

Электropечи сопротивления классифицируют:

по роду работы - на печи периодического и непрерывного действия;

по рабочей температуре на

низкотемпературные (до 400 °C),

среднетемпературные (до 1000 °C),

высокотемпературные (до 1600 °C),

на более высокие температуры изготавливаются вакуумные электropечи или электropечи с контролируемыми атмосферами;

по атмосфере в рабочем пространстве печи - на печи с окислительной (воздушной) атмосферой, на печи с контролируемой средой и вакуумные печи; по конструктивному исполнению - на камерные, шахтные, колпаковые, камерные с выдвижным подом, плавильные, конвейерные, толкательные, барабанные, карусельные, печи с пульсирующим подом и другие

по типу обрабатываемого материала - на печи для термообработки металла, печи для обжига керамики и фарфора, печи для спекания, изгибания, закалки стекла, печи для прокалки опок и др.

Электropечи сопротивления, как правило, характеризуются номинальной мощностью, мощностью холостого хода, размерами рабочей камеры, рабочей температурой, производительностью печи, разновидностью атмосферы в печи. Номинальная мощность печи - общая мощность, которую способны выделить все нагреватели электropечи, а также мощность электродвигателей всех механизмов печи при расчетном напряжении сети.

Потребляемая мощность всегда меньше установленной и зависит от коэффициента использования печи, что связано со старением нагревателей и износом футеровки. Мощность холостого хода печи - мощность, потребляемая печью в установившемся тепловом режиме при рабочей температуре, без учета мощности нагрева садки и мощности печных механизмов. Размер рабочей камеры - расчетный максимальный размер садки, которая может быть загружена в печь, и нагрета по используемой технологии. Рабочая температура - температура, которая может быть получена в рабочем пространстве печи при обеспечении достаточного срока службы печного агрегата. Производительность печи - количество обрабатываемого материала в единицу времени.

В электropечах периодического действия изделия загружаются в рабочее пространство через загрузочные отверстия и находятся там, как правило, неподвижно в течение всего технологического процесса. В электropечах непрерывного действия обрабатываемые изделия с помощью транспортной системы передвигаются от загрузочного отверстия печи к разгрузочному, при этом нагреваясь до необходимой температуры и изменяя свое состояние согласно технологическому процессу.

Печи непрерывного действия, по сравнению с печами периодического действия, имеют большую производительность, их проще комплектовать в поточные и автоматические линии. Рабочая камера электropечей сопротивления изготавливается из качественных огнеупорных материалов. Высокотемпературные нагревательные элементы устанавливаются вдоль боковых стенок на специальных керамических трубках, также встречается

размещение дополнительных нагревателей на поде, своде, задней стенке или крышке электропечи. Электропечи сопротивления с нагревателями из карбида кремния применяются во многих отраслях народного хозяйства. Эти печи нашли широкое распространение при проведении технологических процессов с рабочими температурами 1000° - 1400°C . Печи, снабженные нагревателями из карбида кремния, во многих случаях превосходят печи с металлическими нагревателями по технико-экономическим показателям: в первую очередь — по максимальной рабочей температуре, возможности ведения процессов скоростного нагрева и форсированного вывода электропечи на рабочий режим, возможности проведения процессов в окислительной атмосфере, а также по обеспечению большей мощности при одних и тех же размерах рабочего пространства.

Электропечи сопротивления с нагревателями из дисилицида молибдена также нашли применение во многих отраслях народного хозяйства. Рабочие температуры силицид молибденовых нагревателей выше – до 1600° - 1700°C .

Контрольные вопросы

- 1-Как работает электрическая печь сопротивления?
- 2- В электрических печах сопротивления с рабочими температурами?
- 3- В электрических печах сопротивления с рабочими температура сколка градусов?
- 4-Для чего предназначено электропечи сопротивления с нагревателями из карбида кремния?
- 5- Как классифицируют электропечи сопротивления?

ГЛАВА.15.ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ. ИНДУКЦИОННЫЕ ПЕЧИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАГРЕВА.

15.1-Режим и принцип работ индукционных печей

Работа индукционной печи заключается в нагревании материалов путем использования свойств вихревых токов. Чтобы создать такие токи применяется специальный индуктор, который состоит из катушки индуктивности с несколькими витками провода большого поперечного сечения. К индуктору подводится сеть питания переменного тока. В индукторе переменный ток создает магнитное поле, которое меняется с частотой сети, и пронизывает внутреннее пространство индуктора. При помещении какого-либо материала в это пространство, в нем возникают вихревые токи, осуществляющие его нагревание.

Принцип индукционного нагрева заключается в преобразовании энергии электромагнитного поля, поглощаемой электропроводным нагреваемым объектом, в тепловую энергию. В установках индукционного нагрева электромагнитное поле создают индуктором, представляющим собой многovitковую цилиндрическую катушку (соленоид). Через индуктор пропускают переменный электрический ток, в результате чего вокруг индуктора возникает изменяющееся во времени переменное магнитное поле. Это-первое превращение энергии электромагнитного поля, описываемое нагреваемым объектом помещают внутрь индуктора или рядом с ним. Изменяющийся (во времени) поток вектора магнитной индукции, созданной индуктором, пронизывает нагреваемый объект и индуцирует электрическое поле. Электрические линии этого поля расположены в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного потока, и замкнуты, т. е. электрическое поле в нагреваемом объекте носит вихревой характер. Под действием электрического поля, согласно закону Ома, возникают токи проводимости (вихревые токи). Это — второе превращение энергии

электромагнитного поля, описываемое в нагреваемом объекте энергия индуктированного переменного электрического поля необратимо переходит в тепловую. Такое тепловое рассеивание энергии, следствием чего является нагрев объекта, определяется существованием токов проводимости (вихревых токов).

Это — третье превращение энергии электромагнитного поля, причем энергетическое соотношение этого превращения описывается, описанные превращения энергии электромагнитного поля дают возможность:

- 1) передать электрическую энергию индуктора в нагреваемый объект, не прибегая к контактам (в отличие от печей сопротивления)
- 2) выделить тепло непосредственно в нагреваемом объекте (так называемая «печь с внутренним источником нагрева» по терминологии проф. Н. В. Окорокова), в результате чего использование тепловой энергии оказывается наиболее совершенным и скорость нагрева значительно увеличивается (по сравнению с так называемыми «печами с внешним источником нагрева»).

На величину напряженности электрического поля в нагреваемом объекте оказывают влияние два фактора: величина магнитного потока, т. е. число магнитных силовых линий, пронизывающих объект (или сцепленных с нагреваемым объектом), и частота питающего тока, т. е. частота изменений (во времени) магнитного потока, сцепленного с нагреваемым объектом.

15.2. По технологическому назначению установки индукционного нагрева

Это дает возможность выполнить два типа установок индукционного нагрева, которые различаются и по конструкции и по эксплуатационным свойствам: индукционные установки с сердечником и без сердечника.

По технологическому назначению установки индукционного нагрева подразделяют на плавильные печи для плавки металлов и нагревательные установки для термической обработки (закалки, отпуска), для сквозного

нагрева заготовок перед пластической деформацией (ковкой, штамповкой), для сварки, пайки и наплавки, для химико-термической обработки изделий и т. д. По частоте изменения тока, питающего установку индукционного нагрева различают:

- 1) установки промышленной частоты (50 Гц), питающиеся от сети непосредственно или через понижающие трансформаторы;
- 2) установки повышенной частоты (500-10000 Гц), получающие питание от электромашинных или полупроводниковых преобразователей частоты;
- 3) высокочастотные установки (66 000-440 000 Гц и выше), питающиеся от ламповых электронных генераторов.

15.3. Установки индукционного нагрева с сердечником

В плавильной печи (15.1) цилиндрический многовитковый индуктор, изготовленный из медной профилированной трубки, насаживают на замкнутый сердечник, набранный из листовой электротехнической стали (толщина листов 0,5 мм). Вокруг индуктора размещают огнеупорную керамическую футеровку с узким кольцевым каналом (горизонтальным или вертикальным), где находится жидкий металл. Необходимым условием работы является замкнутое электропроводное кольцо. Поэтому невозможно расплавить отдельные куски твердого металла в такой печи. Для пуска печи приходится в канал заливать порцию жидкого металла из другой печи или оставлять часть жидкого металла от предыдущей плавки (остаточная емкость печи). Изменяющийся (во времени) поток вектора магнитной индукции, созданной индуктором, пронизывает нагреваемый объект и индуцирует электрическое поле. Электрические линии этого поля расположены в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного потока, и замкнуты, т. е. электрическое поле в нагреваемом объекте носит вихревой характер. Под действием электрического поля, согласно закону Ома, возникают токи проводимости (вихревые токи).

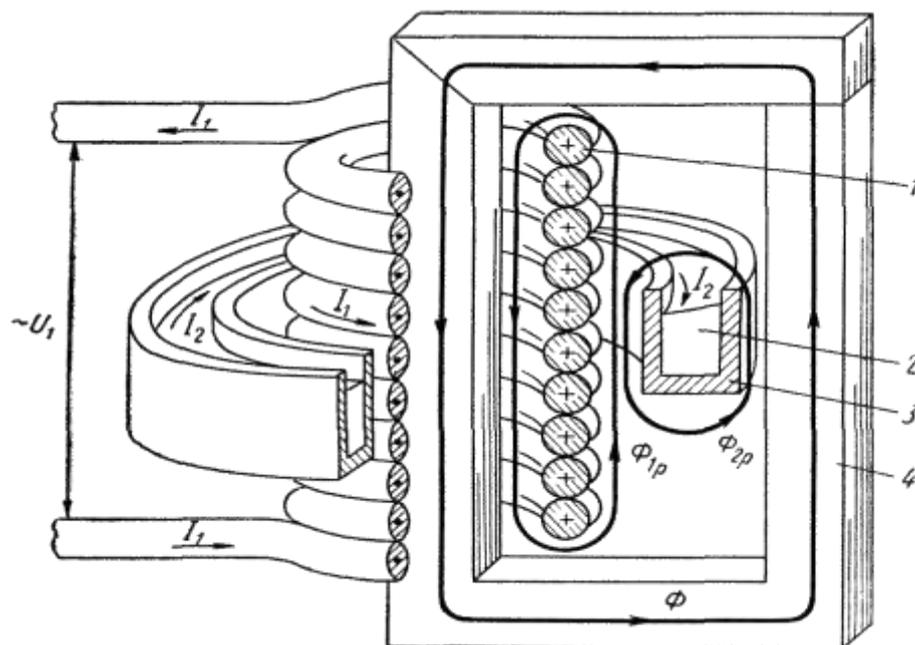


Рис.15.1- Схема устройства индукционной каналной печи:

1 — индуктор; 2 — металл; 3 — канал; 4 — магнитопровод; Φ — основной магнитный поток; Φ_{1p} и Φ_{2p} — магнитные потоки рассеяния; U_1 и I_1 — напряжение и ток в цепи индуктора; I_2 — ток проводимости в металле

В стальном магнитопроводе индукционной каналной печи замыкается большой рабочий магнитный поток и лишь небольшая часть полного магнитного потока, создаваемого индуктором, замыкается через воздух в виде потока рассеяния. Поэтому такие печи успешно работают на промышленной частоте (50 Гц). В настоящее время существует большое число типов и конструкций таких печей, разработанных во ВНИИЭТО (однофазные и многофазные с одним и несколькими каналами, с вертикальным и горизонтальным закрытым каналом разной формы).

Эти печи применяют для плавки цветных металлов и сплавов со сравнительно низкой температурой плавления, а также для получения высококачественного чугуна. При плавке чугуна печь используют либо в качестве капельника (миксера), либо в качестве плавильного агрегата. Конструкции и технические характеристики современных индукционных каналных печей приведены в специальной литературе.

15.4. Вакуумные индукционные тигельные печи

В плавильной печи (рис.15.2) расплавляемый металл находится в керамическом тигле, помещенном внутрь цилиндрического многослойного индуктора. Индуктор изготавливают из медной профилированной трубки, через которую пропускают охлаждающую воду. Узнать подробнее о конструкции индуктора можно здесь. Отсутствие стального сердечника приводит к резкому увеличению магнитного потока рассеяния; число магнитных силовых линий, сцепляемых с металлом в тигле, будет крайне мало. Это обстоятельство требует соответствующего увеличения частоты изменения (во времени) электромагнитного поля.

Поэтому для эффективной работы индукционных тигельных печей приходится питать их токами повышенной, а в отдельных случаях и высокой частоты от соответствующих преобразователей тока. Подобные печи имеют очень низкий естественный коэффициент мощности ($\cos \varphi=0,03-0,10$). Поэтому необходимо применять конденсаторы для компенсации реактивной (индуктивной) мощности. В настоящее время имеется несколько типов индукционных тигельных печей, разработанных во в виде соответствующих размерных рядов (по емкости) высокой, повышенной и промышленной частоты, для плавки стали (тип ИСТ).

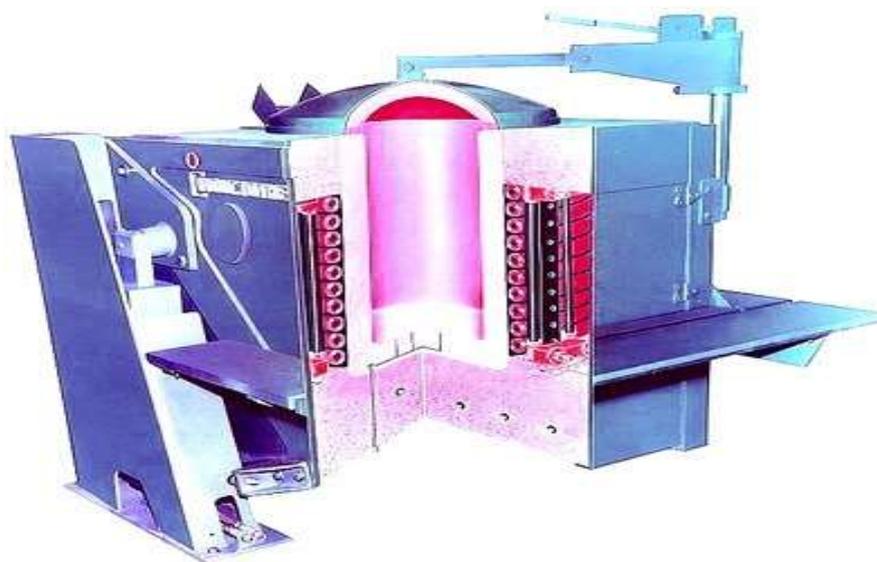


Рис. 15.2- Схема устройства индукционной тигельной печи:

1 — индуктор; 2 — металл; 3 — тигель (стрелками показана траектория циркуляции жидкого металла в результате электродинамических явлений)

Преимуществами тигельных печей являются следующие: выделяющееся непосредственно в металле тепло, высокая равномерность металла по химическому составу и температуре, отсутствие источников загрязнения металла (помимо футеровки тигля), удобство управления и регулирования процесса плавки, гигиеничность условий труда.

Кроме этого, для индукционных тигельных печей характерны: более высокая производительность вследствие высоких удельных (на единицу емкости) мощностей нагрева; возможность плавить твердую шихту, не оставляя металл от предыдущей плавки (в отличие от канальных печей); малая масса футеровки по сравнению с массой металла, что уменьшает аккумуляцию тепловой энергии в футеровке тигля, снижает тепловую инерцию печи и делает плавильные печи этого типа исключительно удобными для периодической работы с перерывами между плавками, в частности для фасонно-литейных цехов машиностроительных заводов; компактность печи, что позволяет достаточно просто изолировать рабочее пространство от окружающей среды и осуществлять плавку в вакууме или в газовой среде заданного состава. Поэтому в металлургии широко применяют вакуумные индукционные тигельные печи (тип ИСВ).

Контрольные вопросы

- 1- Как работа и принцип индукционных печей?
- 2- Какого принцип работ индукционного нагрева?
- 3- Как различается индукционного нагрева без сердечника и сердечника?
- 4-Что такое промышленной частота индукции?
- 5- Какого преимущества тигельных печей?

ГЛАВА-16: ДУГОВОЙ НАГРЕВ И ПЛАВЛЕНИЕ

16. 1-Устройство дуговых печей

Дуговая печь состоит из рабочего пространства (собственно печи) с электродами и токаподами и механизмов, обеспечивающих наклон печи, удержание и перемещение электродов, и загрузку шихты.

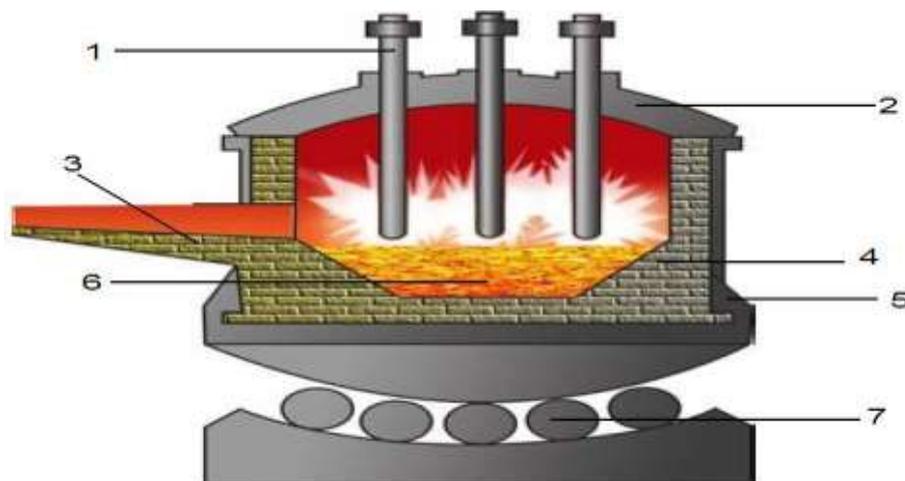


Рис.16.1-Конструкция дуговой электропечи

1 – электроды, 2 – арочный свод, 3- желоб, 4 – футеровка, 5 – кожух печи,
6 – расплавленный металл, 7 – механизм поворота.

Плавку стали ведут в рабочем пространстве, ограниченном сверху куполообразным сводом, снизу сферическим подом и с боков стенками. Огнеупорная кладка пода и стен заключена в металлический кожух. Съёмный свод набран из огнеупорных кирпичей, опирающихся на опорное кольцо. Через три симметрично расположенных в своде отверстия в рабочее пространство введены токопроводящие электроды, которые с помощью специальных механизмов могут перемещаться вверх и вниз. Печь питается трехфазным током. Шихтовые материалы загружают на под печи, после их расплавления в печи образуется слой металла и шлака. Плавление и нагрев осуществляется за счет тепла электрических дуг, возникающих между электродами и жидким металлом или металлической шихтой. Выпуск

готовой стали и шлака осуществляется через сталевыпускное отверстие и желоб путем наклона рабочего пространства. Рабочее окно, закрываемое заслонкой, предназначено для контроля за ходом плавки, ремонта пода и загрузки материалов.

16.2. Выплавка стали в основных дуговых электропечах

Основной составляющей шихты (75-100%) электроплавки является стальной лом. Лом не должен содержать цветных металлов и должен иметь минимальное количество никеля и меди; желательно, чтобы содержание фосфора в ломе не превышало 0.05% при более высоком содержании фосфора продолжительность плавки возрастает. Лом не должен быть сильно окисленным (ржавым). С ржавчиной (гидратом окиси железа) вносится в металл много водорода. Лом должен быть тяжеловесным, чтобы обеспечивалась загрузка шихты в один прием (одной бадьей). При легковесном ломе после частичного расплавления первой порции шихты приходится вновь открывать печь и подсаживать шихту, что увеличивает продолжительность плавки. В последнее время расширяется применение металлизированных окатышей и губчатого железа – продуктов прямого восстановления обогащенных железных руд. Они содержат 85-93%Fe, основными примесями являются окислы железа, SiO₂ и Al₂O₃.

Отличительная особенность этого сырья – наличие углерода от 0.2-0.5 до 2% и очень низкое содержание серы, фосфора, никеля, меди и других примесей, обычно имеющих в стальном ломе. Это позволяет выплавлять сталь, отличающуюся повышенной чистотой от примесей. Переплав отходов легированных сталей позволяет экономить дорогие ферросплавы. Эти отходы сортируют по химическому составу и используют при выплавке сталей, содержащих те же легирующие элементы, что и отходы. Для повышения содержания углерода в шихте используют чугуны, кокс и электродный бой. Основное требование к чугуну – минимальное содержание

фосфора, поэтому чтобы не вносить много фосфора в шихту малых печей не более 10% чугуна, а в большегрузных не более 25%. В качестве шлакообразующих в основных печах применяют известь, известняк, плавиковый шпат, боксит, шамотный бой; в кислых печах – кварцевый песок, шамотный бой, известь. В качестве окислителей используют железную руду, прокатную окалину, агломерат, железные окатыши, газообразный кислород. К шлакообразующим и окислителям предъявляются те же требования, что и при других сталеплавильных процессах: известь не должна содержать более 90% CaO, менее 2% SiO₂, менее 0.1% S и быть свежееобожженной, чтобы не вносить в металл водород. Железная руда должна содержать менее 8% SiO₂, поскольку он понижает основность шлака, менее 0.05% S и мене 0.2% P; желательно применять руду с размером кусков 40-100 мм, поскольку такие куски легко проходят через слой шлака и непосредственно реагирует с металлом. В плавиковом шпате, применяемом для разжижения шлака содержание CaF₂ должно превышать 85%. В электросталеплавильном производстве для легирования и раскисления применяются практически все известные ферросплавы и легирующие.

Данная технология также носит название технологии плавки на свежей шихте с окислением и применяется на печах малой и средней (до 40 т) емкости при выплавке качественных легированных сталей. Плавка состоит из следующих периодов:

1. заправка печи;
2. загрузка шихты;
3. плавление;
4. окислительный период;
5. восстановительный период;
6. выпуск стали.

Заправка печи заправка – это исправление изношенных и поврежденных участков футеровки пода. После выпуска очередной плавки с подины удаляют остатки металла и шлака. На поврежденные подины и откосов

забрасывают магнезитовый порошок или же магнезитовый порошок, смешанный с каменноугольным пеком (связующим). Длительность заправки 10-15 мин.

16.3-Сварка плавлением, угловая сварка

При выплавке стали в печах малой и средней емкости шихта на 90-100% состоит из стального лома. Для повышения содержания углерода в шихту вводят чугун (до 10%), а также электродный бой или кокс. Общее количество чугуна и электродного боя или кокса должно быть таким, чтобы содержание углерода в шихте превышало нижний предел его содержания в готовой стали на 0.3% при выплавке высокоуглеродистых сталей, на 0.3-0.4 % при выплавке среднеуглеродистых и на 0.5% для низкоуглеродистых. Этот предел несколько снижается при росте емкости печи. Чтобы совместить удаление части фосфора с плавлением шихты в завалку рекомендуется давать 2-3% извести. Загрузку ведут бадьями или корзинами. В корзины и бадьи шихту укладывают в следующей последовательности: на дно кладут часть мелочи, чтобы защитить подину от ударов тяжелых кусков стального лома, затем в центре укладывают крупный лом, а по периферии средний и сверху – оставшийся мелкий лом. Плотная укладка шихты улучшает ее проводимость, обеспечивая устойчивое горение дуги, ускоряя плавление. Для уменьшения угара кокс и электродный бой кладут под слой крупного лома.

После окончания завалки электроды опускают почти до касания с шихтой и включают ток. Под действием высокой температуры дуг шихта под электродами плавится, жидкий металл стекает вниз, накапливаясь в центральной части подины. Электроды постепенно опускаются, проплавляя в шихте "колодцы" и достигая крайнего нижнего положения. По мере увеличения количества жидкого металла электроды поднимаются. Это достигается при помощи автоматических регуляторов для поддержания определенной длины дуги. Плавление ведут при максимальной мощности печного трансформатора. Во время плавления происходит окисление

составляющих шихты, формируется шлак, происходит частичное удаление в шлак фосфора и серы. Окисление примесей осуществляется за счет кислорода воздуха, окислы и ржавчины, внесенных металлической шихтой. За время плавания полностью окисляется кремний, 40-60% марганца, частично окисляется углерод и железо. В формировании шлака наряду с продуктами окисления (SiO_2 , MnO , FeO) принимает участие и окись кальция, содержащаяся в извести. Шлак к концу периода плавания имеет примерно следующий состав, %: 35-40 CaO ; 15-25 SiO_2 ; 8-15 FeO ; 5-10 MnO ; 3-7 Al_2O_3 ; 0.5-1.2 P_2O_5 . низкая температура и наличие основного железистого шлака благоприятствует дефосфорации. В зоне электрических дуг за время плавания испаряется от 2 до 5% металла, преимущественно железа. Для ускорения плавания иногда применяют газокислородные горелки, вводимые в рабочее пространство через под или стенки печи. Для уменьшения продолжительности плавания часто применяют продувку кислородом, вводимым в жидкий металл после расплавления шихты с помощью фурм или стальных футерованных трубок. При расходе кислорода 4-6 $\text{м}^2/\text{т}$ длительность плавания сокращается на 10-20 мин. Продолжительность периода плавки определяется мощностью трансформатора и составляет от 1. до 3. ч.

Расход электроэнергии за время плавания составляет 400-480 кВт*ч. Источником теплоты является электрическая дуга, которая горит между электродом и заготовкой. Сварочной дугой называется мощный электрический разряд между электродами, находящимися в среде ионизированных газов и паров. В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие разновидности дуговой сварки. 1-сварка неплавящимся (графитовым или вольфрамовым) электродом 1 дугой прямого действия 2, при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла 3, либо с применением присадочного металла 4; 2-сварка плавящимся электродом

(металлическим) *1* дугой прямого действия с одновременным расплавлением основного металла и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом сварка косвенной дугой *5*, горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами, при этом основной металл нагревается и расплавляется теплотой столба дуги сварка трехфазной дугой, при которой дуга горит между каждым электродом и основным металлом.

16.4. Дуговые печи косвенного, прямого действия

Электрооборудованием дуговых печей косвенного действия являются печной трансформатор, регулировочный реактор и электропривод механизма подачи электродов. Электрический ток подводится к электродам при помощи гибких кабелей от печной трансформаторной подстанции. Изменение расстояния между электродами осуществляют при помощи дистанционного электропривода или автоматического регулятора режима. Электрические дуговые печи косвенного действия изготавливаются емкостью 0,25 и 0,5 т. В них используют графитизированные электроды. Они комплектуются силовыми трансформаторами мощностью 175-250 и 250-400 кВ*А.

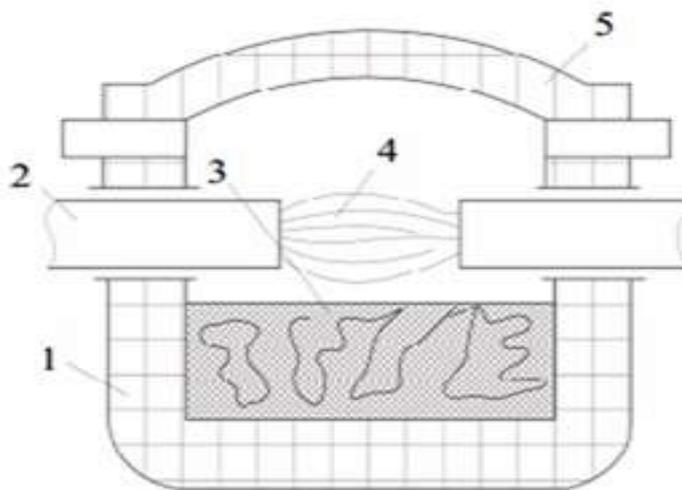


Рис.16.2. Дуговые печи косвенного действия

1-ванна , 2-электроды, 3-металл для переплавки,4- электрическая дуга,
5-корпус

Технологический процесс выплавки электростали в дуговой печи включает следующие операции: расплавление скрапа, удаление из него вредных примесей и газов, раскисление металла, введение легирующих компонентов, рафинирование, выливание металла в ковш для последующей разливки по формам. Постепенное расплавление скрапа и шихты приводит к повышению уровня расплавленного металла, и во избежание возникновения короткого замыкания электроды поднимают.

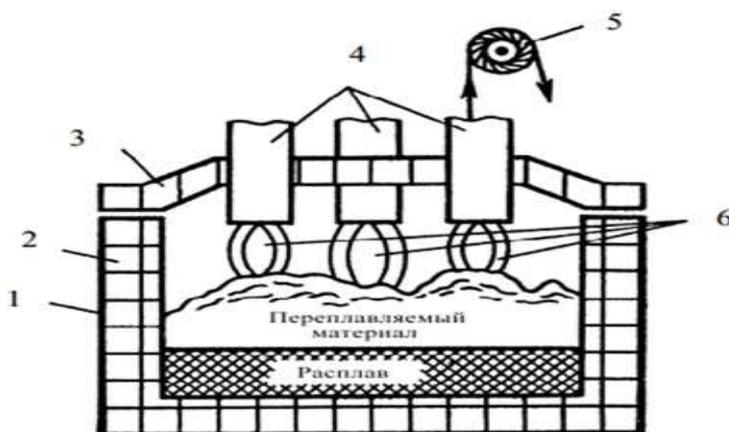


Рис.16.3. Дуговые печи прямого действия

Требования: К конструкции дуговой печи, ее вспомогательным элементам, схеме электроснабжения предъявляют следующие весьма жесткие требования:

- 1) потенциальная возможность гибкого регулирования мощностью;
- 2) возможность поддержания в печи восстановительной атмосферы;
- 3) оперативная защита электрооборудования печи от возникающих коротких замыканий и частых обрывов дуги в течение всего периода плавки;
- 5) возможность ограничивать токи короткого замыкания и выдерживать все электрические режимы технологического процесса.

Электроды: Требования, предъявляемые к ним, - это определенная механическая и жаропрочность и малое активное сопротивление. В таких печах применяются непрерывно наращиваемые графитизированные электроды круглого сечения с обработанными торцами, которые по оси имеют отверстия с резьбой, куда ввинчивают очередные секции электродов.

Графитизированные электроды дороже угольных, однако их главное достоинство - малое удельное сопротивление. В редких случаях применяют графитугольные электроды диаметром от 100 до 1 200 мм, которые изготавливают из антрацита, термоантрацита, нефтяного кокса, каменноугольного пека и смолы в специальных печах путем обжига заготовок при температуре до 1 600 К без доступа кислорода.

Печные трансформаторы: Трансформаторы дуговых сталеплавильных печей имеют ряд особенностей:

1) допускают высокие номинальные токи на низкой стороне (до десятков и сотен килоампер); 2) имеют большой коэффициент трансформации (от 6-110 кВ до нескольких сотен вольт); 3.имеют большое число ступеней напряжения и диапазон его регулирования примерно на 500 % при числе ступеней более 40; 4) характеризуются высокой стойкостью против коротких замыканий и высокой конструктивной прочностью.



Рис.16.4. Печные трансформаторы:

Контрольные вопросы?

- 1-На, каких части состоит Дуговая печь
- 2- Какой должн размер руду кусков
- 3-Какое элемент применяют, для ускорения плавления иногда применяют
- 4- Что является основной составляющей шихты электроплавки
- 5-Сколка кВт/ч расход электроэнергии за время плавления составляет

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ЛЕТЕРАТУРЫ.

- 1.Беляев А.А. Сжигание высокозольных топлив в топках с кипящим слоем промышленных котлов. – М.: МЭИ. 2004 г.
- 2.Rafael Kandiyoti Alan Herod Bartle Trevor Morgan, Solid Fuels and Heavy Hydrocarbon liquids: Thermal Characterization and Analysis, 2016
3. Zhongyang luo Michalis Agraniotis, Low-rank Coals gor Power Generation, Fuel and Chemical Production, 2017.
- 4.Шукин А.А.Промышленниу печи и газове хозяйство заводов .Учебник.- М:Энергия, 2001,-224 с.
- 5.Ключников А.Д. Высокотемпературные теплотехнические процессы и установки. Учебное пособие. - М: Энергоатомиздат,2004,-336 с.
6. Клименко А.В.Промешленная теплоэнергетика и теплотехника. Спровочник(Теплоэнергетика и теплотехника, Кн.4), 4-е издание.- М: МЭИ,2007.-632 с.
- 7.Лебедев О.Д.,Щукин А.А. Теплоиспользующие установки промишленных предприятий. Учебник. М: «Энергия» 2000.
- 8.Чечеткин А.В.Высокотемпературные теплоносители. Учебник. М: «Энергия» 2001.
- 9.Забродский С.С. Высокотемпературные установки с псевдоожиженным слоем. Учебник. М: «Энергия» 2001.
- 10.Несенчук А.П.Огнетехнические установки и топливоснабжение. Учебник. М: Высшая школа, 2002.
- 11.Аверин С.И.Расчет на нагревательных печей. Учебник- Харьков. 2009й.
- 12.Вальченко Н.А.,Гурко В.В. Практические пособие по выполнению курсового проекта по курсу «.Высокотемпературные теплотехнические процессы и установки». - ГГТУ.2001.
- 13.Основы современной энергетики. Том 1. современная теплоэнергетика. – М.: МЭИ, 2004 г., - 376с.

- 14.Всероссийскому теплотехническому институту 80 лет. Спец выпуск журнала «Теплоэнергетика». 2001 г. – 125с.
- 15.Под. Ред. Седлова А.С. Повышение экологической безопасности ТЭС. Учебное пособие для вузов. – М.: МЭИ. 2001 г. – 370 с.
- 16.Троянкин Ю.В. Проектирование и эксплуатация высокотемпературных технологических установок. – М.: МЭИ. 2002 г. – 324 с.
17. Лебедев О. Д., Щукина А. А. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий (учебник). М., «Энергия», 2000.
- 18.Чечеткин А. В. Высокотемпературные теплоносители (учебник). М., «Энергия», 2001.
- 19.Забродский С. С. Высокотемпературные установки с псевдооживленным слоем(учебник). М., «Энергия», 2001.
- 20.Несенчук А.П. Огнетехнические установки и топливоснабжение(учебник). –М.: Высшая школа, 2002.256с.
- 21.Аверин С.И. Расчет на нагревательных печей(учебник). – Харьков.2009.325с.
- 22.Жуковский В.В. Пособие для машинистов и операторов котельной. – СПб.: ЦОТПБСП, 2003. -108 ст.
- 23.Под общей редакцией Е.В. Аметистова. Основы современной энергетики. Современная теплоэнергетика. – М., МЭИ. 2004г. 375с.
- 26.Росляков П.В. Малотоксичные горелочные устройства. – М., МЭИ. 2002г.60с.
27. Е. Н. Громова. Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки Учебное пособие Часть 2. Санкт-Петербург 2021г

INTERNET SAYTLARI

1. www.ziyonet.uz
2. www.twirpx.ru
3. www.03-ts.ru
4. www.aseanenergy.org

НАУЧНЫЙ СЛОВАРЬ (ГЛОССАРИЙ ПРЕДМЕТА)

- 1) **Высокотемпературные процессы** - становление высокотемпературных процессов.
- 2) **Топливо** - (нефть, газ, коксовый уголь, коксовый газ, уголь, флюс) горелкалар-топливо горительные устройства.
- 3) **Технологические устройства** - тепловые устройства.
- 4) **Приготовление** - приготовление разных тел под точным теплом.
- 5) **Сложные процессы** - сжигание топлива, газификация, движение дымовых газов.
- 6) **Электрическая печь** - электрическая печь работающие с помощью электричества.
- 7) **Электрическая пружина** - электронагреватели, электрический тегель, электрический ток.
- 8) **Промышленные печи** - все промышленные печи (нагреватель плавильника, плита).
- 9) **Рабочее место** - (камера, шахта, тоннель).
- 10) **Движение газа** - движение горящего газа, теплопередача.
- 11) **Изоляционные материалы** - огнестойкие материалы, покрытия
- 12) **Регенеративное устройство** - нагревательные устройства за счет огненного газа.
- 13) **Печь куница** - **своячка**, сделанная в честь мартенсов, они изобретели.
- 14) **Устройство для использования тепла** - служит для использования тепла печи.
- 15) **Всасывающее устройство** - услуги по выпуску пожарного газа.
- 16) **Пневматическое приводное устройство** - подает воздух, необходимый для сжигания топлива
- 17) **Механическое оборудование** - служит для перемещения нагреваемых тел в печи.

- 18) **Автоматические регуляторы** – для регулировки процессов внутри и снаружи печи.
- 19) **Классификация промышленных печей** - по технологическому направлению (металлургия, машиностроение, строительство).
- 20) **Функции доменной печи** - служит для плавки чугуна.
- 21) **Коксовый газ** - получают путем нагревания угля в безвоздушной среде.
- 22) **Электрическая пружина** - электронагреватели, электрический тегель, электрический ток.
- 23) **Промышленные печи** - все промышленные печи (нагреватель плавильника, плита).
- 24) **Рабочее место** - (камера, шахта, тоннель).
- 25) **Движение газа** - движение горящего газа, теплопередача.
- 26) **Изоляционные материалы** - огнестойкие материалы, покрытия
- 27) **Регенеративное устройство** - нагревательные устройства за счет огненного газа.
- 28) **Приготовление** - приготовление разных тел под точным теплом.
- 29) **Сложные процессы** - сжигание топлива, газификация, движение дымовых газов.
- 30) **Электрическая печь** - электрическая печь работающие с помощью электричества.
- 31) **Электрическая пружина** - электронагреватели, электрический тегель, электрический ток.
- 32) **Промышленные печи** - все промышленные печи (нагреватель плавильника, плита).
- 33) **Автоматические регуляторы** – для регулировки процессов внутри и снаружи печи.
- 34) **Классификация промышленных печей** - по технологическому направлению (металлургия, машиностроение, строительство).
- 35) **Функции доменной печи** - служит для плавки чугуна.
- 36) **Коксовый газ** получают путем нагревания угля в безвоздушной среде

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

1-Плотность металлов

Металл	Плотность (г/см ³)
Алюминий	2,70
Железо	7,87
Золото	19,30
Кадмий	8,65
Медь	8,92
Никель	8,96
Палладий	12,02
Платина	21,45
Свинец	11,34
Серебро	10,49
Титан	4,52
Цинк	7,14

2-Плотность золотых сплавов

Проба	Цвет	Марка	Плотность (г/см ³)
750	желтый	ЗлСрМ 750-125	15,45
	зеленый	ЗлСр 750-250	15,96
	белый	ЗлСрПд 750-100-150	16,44
	белый	ЗлСрНЦ 750-150-75	15,38
585	красный	ЗлСрМ 585-80	13,24
	желтый	ЗлСрМ 585-200	13,60
	зеленый	ЗлСрМ 585-300	13,92
	белый	ЗлСрПд 585-255-160	14,76
	белый	ЗлНЦМ 585-125-60	12,85
375	красный	ЗлСрМ 375-160	11,54
	розовый	ЗлСрПдМ 375-100-38	11,56

3-Плотность серебряных сплавов.

Проба	Марка	Плотность (г/см ³)
960	СрМ 960	10,43
925	СрМ 925	10,36
900	СрМ 900	10,30
875	СрМ 875	10,28
830	СрМ 830	10,19
800	СрМ 800	10,13
720	СрМ 720	10,00

4-Плотность медных сплавов

Сплав	Лигатура	Плотность (г/см ³)
Латунь	цинк до 45%	8,2 – 8,6
Бронза	олово 3-12%	7,5 – 8,8
Мельхиор	никель 18-20%	8,9
Нейзильбер	никель 15%, цинк 20%	8,45

5-Таблица плотности материалов кг/м³

Твердое вещество	ρ, кг/м³	ρ, г/см³
Осмий	22600	22,6
Иридий	22400	22,4
Платина	21500	21,5
Золото	19300	19,3
Свинец	11300	11,3
Серебро	10500	10,5
Медь	8900	8,9
Латунь	8500	8,5
Сталь, железо	7800	7,8
Олово	7300	7,3
Цинк	7100	7,1
Чугун	7000	7,0
Корунд	4000	4,0
Алюминий	2700	2,7
Мрамор	2700	2,7
Стекло оконное	2500	2,5
Фарфор	2300	2,3
Бетон	2300	2,3
Кирпич	1800	1,8
Сахар-рафинад	1600	1,6
Оргстекло	1200	1,2
Капрон	1100	1,1
Полиэтилен	920	0,92
Парафин	900	0,90
Лед	900	0,90
Дуб (сухой)	700	0,70
Сосна (сухая)	400	0,40
Пробка	240	0,24

6-таблица: Плотности стали по сортаментным группам

сталь	марки	Плотность, кг/м ³	плотность стали г/см ³
быстрорежущая	P18, P6M5, P9K5, P6M5K5	8000-8800	8,0-8,8
на железоникелевой основе	XH70ЮН, ХНЗЮА	7700-8170	7,7-8,17
Инструментальная целевого назначения	65Г, ШХ15СГ, 5ХНМ	7700-7850	7,7-7,85
нержавеющая	40х13, 95х18, 12х18н10т	7670-8000	7,67-8,0
углеродистая	У10, У8А, У7	7740-7850	7,74-7,85
легированная	9ХВГ, 25ХГТ, 18ХГС, 25Х5М	7640-7880	7,64-7,88

7-Таблица: плотностей веществ

Твердое тело	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Твердое тело	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Осмий	22 600	22,6	Мрамор	2700	2,7
Иридий	22400	22,4	Стекло оконное	2500	2,5
Платина	21 500	21,5	Фарфор	2300	2,3
Золото	19 300	19,3	Бетон	2300	2,3
Свинец	11300	11,3	Кирпич	1800	1,8
Серебро	10 500	10,5	Сахар-рафинад	1600	1,6
Медь	8900	8,9	Оргстекло	1200	1,2
Латунь	8500	8,5	Капрон	1100	1,1
Сталь,железо	7800	7,8	Полиэтилен	920	0,92
Олово	7300	7,3	Парафин	900	0,90
Цинк	7100	7,1	Лед	900	0,90
Чугун	7000	7,0	Дуб (сухой)	700	0,70
Корунд	4000	4,0	Сосна (сухая)	400	0,40
Алюминий	2700	2,7	Пробка	240	0,24

8-Таблица: Химические свойства и удельный вес цветных металлов

Наименование цветного металла	Химическое обозначение	Атомный вес	Температура плавления, °С	Удельный вес, г/куб.см
Цинк (Zinc)	Zn	65,37	419,5	7,13
Алюминий (Aluminium)	Al	26,9815	659	2,69808
Свинец (Lead)	Pb	207,19	327,4	11,337
Олово (Tin)	Sn	118,69	231,9	7,29
Медь (Copper)	Cu	63,54	1083	8,96
Титан (Titanium)	Ti	47,90	1668	4,505
Никель (Nickel)	Ni	58,71	1455	8,91
Магний (Magnesium)	Mg	24	650	1,74
Ванадий (Vanadium)	V	6	1900	6,11
Вольфрам (Wolframium)	W	184	3422	19,3
Хром (Chromium)	Cr	51,996	1765	7,19
Молибден (Molybdaenum)	Mo	92	2622	10,22
Серебро (Argentum)	Ag	107,9	1000	10,5
Тантал (Tantal)	Ta	180	3269	16,65
Золото (Aurum)	Au	197	1095	19,32
Платина (Platina)	Pt	194,8	1760	21,45

ОГЛАВЛЕНИЕ:

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЯ: ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧАХ.....	5
1.1. Высокотемпературные тепловые установки.....	5
1.2.Классификация и конструктивные схемы промышленных печей.....	6
1.3. Классификация термической обработки изделий.....	8
1.4. Термическая обработка материалов и изделий в различных технологических процессах.....	9
1.5. Процессы, происходящие в технологических процессах.....	10
ГЛАВА.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧЕЙ.	
2.1. Печи по видам производственно-технологического назначения.....	13
2.2.Виды и типы промышленных печей.....	16
2.3. Применение промышленных печей.....	17
ГЛАВА 3. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧЕЙ.....	19
3.1. Общая схема и устройства печи.....	19
3.2. Устройство рабочего пространства промышленных печей.....	20
3.3. Принципиальные схемы печей и их конструкция.....	21
3.4. Регенерации тепла и в рабочем пространстве.....	23
ГЛАВА 4. ТУННЕЛЬНЫЕ И ШАХТНЫЕ ПЕЧИ.....	25
4.1.Туннельная печь непрерывно действующий агрегат.....	25
4.2-Режим и работа Туннельных печей.....	26
4.3-Общая схема Шахтной печи.....	27
4.4-Схема движения газов печей.....	28
ГЛАВА 5. АБСТРАКТНЫЕ КИПЯЩИЕ СЛОИСТЫЕ ПЕЧ. ВРАЩАЮЩИЕСЯ БАРАБАНЫЕ ПЕЧИ.....	32
5.1-Режим и работа, абстрактные кипящие слоистые печи.....	32
5.2-Общий понятия абстрактные кипящие слоистые печи.....	33
5.3-Виды вращающиеся барабанные печи.....	35

5.4- Применение вращающихся печей.....	36
ГЛАВА 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ КАМЕРНЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ И ПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ.....	38
6.1. Печи с передвижением деталей под действием силы тяжести.....	38
6.2. Печи с передвижением деталей толкателем.....	39
6.3. Конвейерные печи.....	42
6.4. Туннельные и роликовые печи.....	43
6.5. Барабанные и протяжные печи.....	45
ГЛАВА 7. МЕТАЛЛАПЛАВЮЩИЕ МАРТЕНОВСКИЕ ПЕЧИ И ВОСПАЛИТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ.....	49
7.1. Конструкция и работа мартеновской печи.....	49
7.2. Конструкция мартеновской печи.....	50
7.3. Классификация конструкций мартеновской печи.....	51
7.4. Теплотехнические основы работы мартеновской печи.....	52
7.5. Топливо мартеновских печей.....	53
7.6. Технология мартеновской плавки.....	56
ГЛАВА 8. ЦИКЛОННЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ И ПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ.....	59
8.1-Режим и работа циклонных печей.....	59
8.2-Энерготехническое комбинирование циклонные, печи.....	60
8.3-Схема работы комбинирование циклонные, печи.....	62
ГЛАВА 9. ИСПОЛЬЗУЮМЫ И ЭКОНОМИ ТОПЛИВО В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСТРОЙСТВАХ.....	64
9.1.Промышленные печи.....	64
9.2. Глубокое использование теплоты уходящих продуктов сгорания.....	65
9.3.Вторичные энергетические ресурсы.....	67
9.4.Уменьшение потерь тепла на водоохлаждаемые элементы.....	70
9.5-Теплообменные аппараты для утилизации высокотемпературны ВЭР....	72

ГЛАВА.10 МЕТОДЫ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВО В ВЫСОКОТЕМПЕРА -	
ТУРНЫХ УСТРОЙСТВАХ.....	75
10.1.Топливо и его сжигание в печах.....	75
10.2.Метод слоевой, факельного сжигания топлив.....	76
10.3. Химическая, механическая неполнота сгорания.....	79
10.4. Циклонное сжигание и их преимущество.....	86
ГЛАВА.11. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГОРЕНИЯ ТВЕРДОТОПЛИВЫ.....	90
11.1.Примениниые твердых топлив в высокотемпературных печах.....	90
11.2-Различные схемы использования твердого топлива в печах.....	90
11.3.Общие схемы использования твердого топлива.....	91
11.4.Применение твердое топливо под тепловымь котлами.....	92
11.5. Газификация твердых топлив.....	94
ГЛАВА 12. ГОРЕЛКИ НА ГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ.....	98
12.1. Классификация и типы газовых горелок.....	98
12.2. Регулятор подачи первичного воздуха.....	101
12.3. Беспламенные инжекционные горелки.....	102
ГЛАВА.13. УСТРОЙСТВА И ГОРЕЛКА ДЛЯ СЖИГАНИЯ ЖИДКИХ	
ТОПЛИВ.....	104
13.1.Горелки для сжигания жидкого топлива.....	104
13.2.Паровые форсунки.....	105
13.3.Механические форсунки.....	107
ГЛАВА.14. СПОСОБЫ НАГРЕВА С ПОМОЩЬЮ	
ЭЛЕКТРИЧЕСТВА.....	109
14.1.Электрические печи сопротивления.....	109
14.2.Классификация печей нагрева сопротивлением по технологическому назначению.....	110
14.3.Промышленные электропечи сопротивления.....	111
14.4.Рабочая камера электропечей.....	113

ГЛАВА.15.ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ. ИНДУКЦИОННЫЕ ПЕЧИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАГРЕВА.....	116
15.1-Режим и принцип работ индукционных печей.....	116
15.2.По технологическому назначению установки индукционного нагрева.....	117
15.3. Установки индукционного нагрева с сердечником.....	118
15.4. Вакуумные индукционные тигельные печи.....	120
ГЛАВА-16: ДУГОВОЙ НАГРЕВ И ПЛАВЛЕНИЕ.....	122
16. 1-Устройство дуговых печей.....	122
16.2. Выплавка стали в основных дуговых электропечах.....	123
16.3-Сварка плавлением, угловая сварка.....	125
16.4. Дуговые печи косвенного, прямого действия.....	127
ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ЛЕТЕРАТУРЫ.....	131
НАУЧНЫЙ СЛОВАРЬ (ГЛОССАРИЙ ПРЕДМЕТА).....	133
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ.....	135
ОГЛАВЛЕНИЕ.....	138

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СОВЕТЫ

