

М. А. КАСЕНКОВ

# РАБОТА И ОБСЛУЖИВАНИЕ КУЗНЕЧНЫХ ПЕЧЕЙ

*ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ*

ИСПРАВЛЕННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

НКТИ СССР

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МОСКВА 1944 СВЕРДЛОВСК

В книге даны краткие сведения о металлах и технологииковки. Подробно изложены вопросы сжигания топлива, устройства, обслуживания и ремонта печей, а также условия безопасности и организации труда при работе у печей.

Книга предназначена для работников кузнечных цехов.

Отв. редактор Н. Н. Гаврилин  
Техн. редактор Е. Д. Гракова

---

А12088. Подписано в печ. 9/XI 1944 г. Кол. печ. л. 11,25 + вкл. Кол. уч.-изд. л. 13,7. Тираж 10 000 экз.  
Заказ № 1755. Цена 15 р.

1-я Образцовая типография треста «Полиграф-книга» Огиза при СНК РСФСР.

---

Отпечатано с матриц в типографии Упр. Дел. СНК СССР. Зак № 2676.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В топливном балансе нашей страны расход топлива в заводских печах составляет значительную часть. Достаточно сказать, что печи металлообрабатывающих заводов потребляют до 50% всего топлива, расходуемого этими заводами.

Потери металла при нагреве в печах также значительны; около миллиона тонн стали ежегодно в прокатных, кузнечных и других печах нашего Союза теряется в окалину.

Причина такого громадного расхода топлива и потери металла кроется главным образом в запущенности печного хозяйства. До сих пор на большинстве заводов недооценивают значение печи как важнейшего производственного агрегата, и руководство заводов не ведёт должной борьбы за культуру печного хозяйства.

При таком положении намечаемые и проводимые мероприятия по рационализации печного хозяйства, даже при правильных решениях, не давали желаемого результата.

К тому же, не желая увеличивать видимые расходы по обслуживанию печей и учитывая, что печи, не в пример паровым котлам, не являются взрывоопасными установками, к ним или вовсе не ставят нагревательщиков, или доверяют это дело случайным неквалифицированным рабочим.

В результате этого, не говоря о браке, потерях топлива и металла, новые печи быстро приходят в негодность, задымляют цех, создавая неблагоприятные условия для работы.

Настоящее положение должно быть в корне изменено. Мы не смеем забывать, что в годы войны и послевоенные годы топливо и металл являются и будут являться самыми дефицитными статьями расхода нашего хозяйства.

Нужно повести решительную борьбу за экономию каждого килограмма топлива и металла, — и на этом фронте мы можем победить и должны победить.

Автор при составлении книги стремился оказать помощь тем цеховым работникам, которые ценят главным образом простые и ясные выводы и для работы которых трудные, сложные научные теории могут иметь только второстепенное значение.

Для более углублённой проработки материала даётся соответствующая библиография.

В заключение считаю долгом выразить глубокую благодарность доценту Д. И. Лоськову, кандидатам техн. наук В. Ф. Копытову и В. А. Куроедову, давшим ценные указания при составлении этой книги.

---

## Глава I

### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О КУЗНЕЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

#### 1. Ковка металлов

*Виды обработки металла.* Рассматривая металлические изделия и части машин даже поверхностно, легко заметить, что большинство из них изготовлено посредством отливки или посредствомковки.

Отливка и ковка выполняются с горячим металлом. Вид обработки, при котором металл обрабатывается в горячем состоянии, называется горячей обработкой металла.

Как отливки, так и поковки после изготовления получают недостаточно чистыми и точными по размерам, а потому в большинстве случаев их дополнительно обрабатывают на станках (токарных, фрезерных, строгальных и пр.) в специальных механических цехах. Такой вид работы называется холодной обработкой металлов.

Ознакомимся вкратце с кузнечным производством, т. е. с тем производством, где приходится нагревать металл для выполнения различного вида кузнечных работ.

*Понятие о ковке.* При ковке кусок металла нагревают до пластичного состояния и затем ударами или давлением с применением необходимого инструмента из нагретого куска создают изделие (поковку) требуемой формы.

Ковка металла производится в тестообразном, пластичном состоянии. Что же надо понимать под пластичностью материала? Возьмём кусок сырой глины или воска, сожмём его, и мы увидим, что после снятия глина и воск сохраняют ту форму, которая была им придана. Если то же проделать с куском резины, то после снятия резина примет свою прежнюю форму.

На основании проделанного опыта мы можем сказать, что глина и воск являются материалами пластичными, резина же, наоборот, является материалом непластичным. Таким образом, под пластичностью нужно понимать способность материала воспринимать и сохранять приданную ему форму.

Многие металлы, в том числе железо и сталь, тоже пластичны, их тоже можно сминать, т. е. ковать, но для этого их прежде

необходимо нагреть и чем сильнее мы их нагреем, тем более они будут пластичны и тем легче будут коваться.

Потребное усилие (удар или давление) при ковке зависит от степени нагрева металла. Так, например, при ковке стали, нагретой до  $950^{\circ}$ , усилия потребуется в 2,2 раза более, чем для нагретой до  $1200^{\circ}$ , а для стали, нагретой лишь до  $700^{\circ}$ , усилия потребуется в 4,3 раза, более.

Есть металлы, которые пластичны и в холодном состоянии (например свинец и алюминий), но есть и такие, которые не пластичны ни в холодном, ни в нагретом состоянии. К таким непластичным металлам относится чугун. Следовательно, чугун — металл нековкий.

*Значениековки.* Если мы внимательно присмотримся к машинам (молотам, станкам, паровозам и пр.), то увидим, что все наиболее ответственные части их (коленчатые валы, оси, дышла, штоки, тяги и пр.) изготовлены посредствомковки. Это наталкивает на мысль, что кованые изделия прочнее литых. Действительно, ковка не только придаёт изделию нужную форму, но и улучшает его качество. Это происходит потому, что ковка делает металл более однородным и мелкозернистым, а отсюда и более прочным.

Повышению прочности способствует и то обстоятельство, что при ковке (железа, мягкой стали и др.) зёрна металла, изменяя свою форму (деформируясь), располагаются по направлению вытяжки, т. е. по направлениюковки. При таком расположении зёрен металл приобретает так называемое волокнистое строение. Определённым направлением волокон можно добиться повышения качества изделия.

Из изложенного видно, что ковка является одной из важнейших работ в машиностроении, т. е. в производстве металлообрабатывающих заводов, так как ковкой изготавливаются наиболее ответственные части машин.

## 2. Видыковки

*Ручная и машиннаяковка.* При ковке металл подвергается ударам или давлению. Основным инструментом при ковке служат наковальня и молот (кувалда) либо бойки, верхний и нижний. В первом случае удары молотом производятся вручную, такой вид работы называется ручнойковкой; во втором же — удары или давление на металл производятся бойками специальных козовых машин (молотов, прессов); такой вид работы называется машиннойковкой.

Совершенно очевидно, что машиннаяковка имеет целый ряд преимуществ перед ручной. Эти преимущества заключаются в скорости изготовленияпоковки, в получении более точных размеров, в лучшем качествепоковки, в удешевлении стоимости и в возможности производитьковку крупных изделий.

Отсюда понятно, почему ручнаяковка применяется только в случаях изготовления небольшого количества мелких и простых

по форме поковок. В остальных случаях выгоднее применять машинную ковку.

*Свободная ковка и штамповка.* Присматриваясь внимательно к кузнечному производству, мы видим также, что куски металла коются по-разному не только в отношении применения ручной или машинной силы. В одном случае ковка происходит на бойках с гладкой рабочей поверхностью путём последовательной обработки куска металла со всех сторон при применении соответствующего инструмента; такой способковки называется свободной ковкой. В другом случае нагретый почти добела кусок металла вдавливается ударами или давлением в специальную форму — штамп, т. е. ковка производится в штампах; такой способковки называется штамповкой. Способ штамповки настолько прост, что им даже неквалифицированный рабочий может изготавливать поковки сложной формы. При свободной же ковке такая работа может быть выполнена лишь квалифицированным, опытным кузнецом.

Штамповку выгодно применять при массовом производстве изделий, т. е. тогда, когда окупится стоимость дорогостоящего штампа. Поэтому не все изделия можно изготавливать штамповкой; например, изготовление крупных частей машин (дышла, оси, крупные коленчатые валы и пр.) производится свободной ковкой.

### 3. Нагрев металла при ковке

*Значение нагрева.* Было отмечено, что ковкой улучшается качество металла. Но нужно помнить, что это происходит только тогда, когда нагрев металла производится правильно. Правильно нагревать металл — это значит нагревать его с определённой заданной скоростью и до определённой заданной температуры. Несоблюдение этих основных требований при нагреве металла может привести к порче его: образованию трещин, пережогу и пр., т. е. к браку поковок.

Если брак, получаемый вследствие неправильнойковки, часто исправим, то неправильный нагрев не только ухудшает качество металла, но и часто даёт неисправимый брак; в отдельных случаях брак получается внутренний, скрытый, который трудно обнаружить.

Правильный нагрев металла облегчает его ковку, т. е. формоизменение, и понижает расход энергии; в противоположность этому недогрев увеличивает сопротивление металла формоизменению при ковке, повышает расход энергии и времени на ковку, а иногда вызывает поломку молота или ковочной машины.

Таким образом, нагрев металла при ковке является важнейшей операцией кузнечного производства. Правильный нагрев способствует выполнению поковок отличного качества, обеспечивает высокую производительность печи и молота при наименьшем расходе топлива и энергии, а следовательно удешевляет стоимость поковки.

*Условия нагрева.* Нагрев металла дляковки производится главным образом в печах. Для правильного нагрева металла необходимо понимать процессы, происходящие в нагревательной печи при её работе, и уметь обслуживать печь, т. е. уметь управлять этими процессами.

Обслуживание нагревательной печи складывается из трёх основных моментов:

- 1) правильного, полного сжигания топлива;
- 2) наиболее полного использования полученного от топлива тепла для нагрева металла;
- 3) ведения правильного режима нагрева металла.

Следовательно, для правильного понимания процессов, происходящих в печи, и правильного обслуживания её необходимо знать:

1. Металлы, главным образом железо и сталь, их производство, свойства, сорта и как металлы ведут себя при нагреве и ковке.
2. Топливо — сорта, состав и условия правильного сжигания.
3. Устройство нагревательных печей, правила ухода за ними и материалы, из которых они сооружаются.

Вооружённые перечисленными выше знаниями, работники кузнечного цеха, обслуживающие нагревательные печи, смогут лучше их использовать и дать более высокие количественные и качественные показатели на своём производственном участке, т. е. будут способствовать дальнейшему развитию стахановских методов работы.

Производительность нагревательных печей благодаря стахановским методам работы значительно возросла; это явилось и вкладом в науку — способствовало дальнейшему развитию как современной теории печей, так и улучшению их конструкции.

## Г л а в а II

### МЕТАЛЛЫ

#### 1. Общие сведения

*Чёрные и цветные металлы.* Из всех известных металлов, а известно их около 50, в металлопромышленности имеют применение 10—15 металлов. Металлы, применяемые в металлопромышленности, разделяются на две основные группы — чёрные и цветные.

В группу чёрных металлов входят: чугун, железо и сталь.

В группу цветных металлов входят: медь, алюминий, никель, олово, цинк, свинец и др.

*Железная руда.* В природе, т. е. на земле, металлы в чистом виде встречаются редко. В самородном, чистом виде изредка встречается, например медь; железа же в том виде, в каком его мы знаем, в природе нет. В природе металлы, в том числе и железо, встречаются в виде руды.



Что такое руда? Это в большинстве случаев окисленный или сернистый металл (т. е. металл в соединении с кислородом или серой), смешанный с горной породой: песком, глиной, известняком и др.; горную породу часто называют пустой породой.

В большинстве железных руд железо находится в соединении с кислородом. Всякое соединение какого-либо вещества с кислородом называется окислением; продукт же этого соединения называют окислом. Таким образом, железо в железной руде находится в виде окисла.

Почему железо и большинство металлов не встречаются на земной поверхности в чистом виде, будет понятно из следующего примера. Возьмём какое-либо железное изделие или просто кусок железа и оставим его некоторое время на воздухе, особенно влажном; тогда на поверхности его появится ржавчина. Ржавление объясняется способностью<sup>1</sup> железа соединяться с кислородом или, как говорят, «окисляться». Соединяясь с кислородом воздуха, железо переходит в ржавчину или окисел. Этим и объясняется, почему на земной поверхности нет чистого железа, а есть много железной руды. Итак, запомним, что железная руда есть железный окисел, смешанный с пустой породой.

Не все руды содержат одинаковое количество железа: одни содержат его меньше, другие больше; в среднем в руде содержится 40—50% железа. В СССР основная добыча железных руд ведётся в Криворожье и на Урале.

## 2. Сведения о производстве чёрных металлов

**Чугун.** Итак, к чёрным металлам относятся чугун, железо и сталь; из них в кузнечном производстве нам придётся иметь дело с железом и сталью. Основным исходным материалом для получения чёрных металлов является железная руда, которая в доменной печи переплавляется на чугун. Топливом при плавке служит чаще всего кокс, реже древесный уголь. Для удаления пустой породы при плавке добавляется флюс, который, соединяясь с пустой породой, образует с ней легкоплавкий шлак. Флюсом служит главным образом известняк.

Рассмотрим теперь, что такое чугун и почему в доменной печи не удаётся выплавить железо непосредственно из железной руды.

При плавке железной руды в доменной печи получаемое из руды железо соприкасается с раскалёнными кусочками топлива — кокса, вследствие чего небольшая часть углерода<sup>2</sup> топлива соединяется с железом. Кроме того, в железных рудах обычно

<sup>1</sup> Способность различных веществ соединяться друг с другом называется «сродством».

<sup>2</sup> Углерод есть основное вещество, входящее в состав топлива. Подробно об этом см. в главе III

венно находятся в небольших количествах примеси кремния, марганца, серы и фосфора. Большинство этих примесей при плавке также соединяется с железом и препятствует непосредственному получению железа из руды.

Таким образом; из железной руды в доменной печи выплавляется не чистое железо, а сплав железа с углеродом, кремнием, марганцем, фосфором и серой, т. е. чугуны.

Чугун, выплавляемый в доменных печах, разделяется на два основных вида: литейный, или серый, чугун и переплавный, или белый, чугун.

Серый чугун мягок, хорошо поддаётся механической обработке и идёт для литья; плавится при температуре  $1250^{\circ}$ .

Белый чугун твёрд и хрупок, идёт в переплавку (в передел) на железо и сталь; плавится при температуре  $1100^{\circ}$ . Получение того или другого вида чугуна зависит от формы углерода в нём.

В чугуне углерод может находиться в двух видах:

1) химически связанный с железом; химическое соединение углерода с железом называется карбидом железа, или цементитом. Цементит очень твёрдый и хрупкое кристаллическое вещество, в состав его входят  $6,67\% \text{ C}$  и  $93,33\% \text{ Fe}^1$ ;

2) в свободном состоянии, т. е. в виде графита.

При охлаждении чугуна может произойти распад карбида, при этом углерод выделяется в свободном виде в форме пластинок или крупинок, которые залегают между частичками железа по всему металлу равномерно. В этом случае получается серый чугун.

В другом случае, при охлаждении чугуна, углерод остаётся в форме карбида и придаёт чугуну повышенную твёрдость и хрупкость, т. е. в этом случае получается белый чугун.

Образование той или другой формы углерода, а следовательно получение серого или белого чугуна, зависит от скорости охлаждения расплавленного металла. При медленном охлаждении карбид железа успевает распасться, получается серый чугун; наоборот, быстрое охлаждение препятствует распаду карбида — получается белый чугун.

Кроме того, распаду карбида способствует присутствие достаточного количества примеси кремния в чугуне, т. е. кремний способствует получению серого чугуна. В противовес этому присутствие марганца препятствует распаду карбида, т. е. марганец способствует получению белого чугуна. При известных условиях охлаждения и при известном составе чугуна может получиться чугун переходный от белого к серому, такие чугуны называются половинчатыми.

Чугун как металл не обладает высокой прочностью, он плохо сопротивляется разрыву, удару и изгибу; только сопротивление сжатию и твёрдость у чугуна значительны. Поэтому чугун при-

<sup>1</sup> C и Fe — обозначение латинскими буквами углерода и железа, в дальнейшем см. латинский алфавит.

меняется для отливки тех частей машин, которые при работе не подвергаются удару и разрывающим усилиям, большая же часть чугуна переплавляется в железо и сталь как более прочные металлы.

*Железо и сталь.* Чтобы легче усвоить плавку (передел) чугуна на железо и сталь, предварительно установим, чем отличаются железо и сталь от чугуна. Сталь и железо отличаются от чугуна количеством примесей, главным образом, углерода: в стали углерода меньше, чем в чугуне, а в железе меньше углерода, чем в стали. Так, например, в стали содержание углерода — до 1,6%, а в железе — до 0,15%.

Отсюда ясно, что сущность переплавки чугуна в сталь и железо заключается в уменьшении количества углерода в чугуне и в некоторых случаях (специальные стали) добавкой в расплавленный металл нужных примесей, как то: хром, никель, вольфрам и др. Как же это происходит?

Если расплавленный чугун ввести в соприкосновение с воздухом, то кислород последнего будет соединяться с примесями и железом, переводя их в окислы. Примесь, обладая большей способностью (сродством) соединяться с кислородом, быстрее перейдут в окислы, и так как последние легче металла (железа), то они всплывут на поверхность его в виде шлака, который легко может быть удалён. Углерод, окисляясь, переходит в газообразный окисел. При переплавке чугуна и стали также употребляются флюсы с целью ускорить процесс выделения ненужных примесей (ошлаковывание), удержания окислов в шлаке и предохранения поверхности жидкого металла от сильного окисления (горения). Таким образом, выжигая примеси из чугуна, т. е. уменьшая их количество, мы получаем железо или сталь нужного сорта.

Существует несколько способов переплавки чугуна в железо и сталь; из них основные: 1) бессемеровский, 2) томасовский и 3) мартеновский. Все способы переплавки отличаются друг от друга лишь приёмами окисления и устройством печей, сущность же переплавки везде одинакова.

В зависимости от способа производства разделяют сталь на бессемеровскую, мартеновскую и др. Качество мартеновской стали выше бессемеровской и томасовской, так как при мартеновском способе шлак лучше отделяется от металла, вследствие чего сталь получается чище.

Кроме указанных способов получения стали применяются ещё способы электроплавки и тигельный. Этими способами (особенно электроплавкой) получают, обычно из мартеновской или другой стали, лучшие конструкционные, инструментальные и специальные стали.

Повторим ещё раз: железо, сталь и чугун, применяемые в промышленности, представляют собой сплавы железа с углеродом и другими примесями, которые являются либо постоянными спутниками при производстве чёрных металлов, либо умышленно введёнными в сплав для получения нужных свойств.

### 3. Сталь, её свойства, примеси и строение

Свойства различных сортов стали неодинаковы: они зависят от её состава, т. е. содержания примесей, и последующей тепловой обработки (закалки и др.). Из всех примесей наибольшее влияние на свойства стали оказывает углерод. Выясним, в чём состоит это влияние и что нужно понимать под основными свойствами металлов.

**Прочность и вязкость.** Одним из основных свойств металла является прочность, т. е. способность его сопротивляться различным внешним воздействиям (разрыву, изгибу, сжатию и скручиванию).

Возьмём несколько прутков одинаковой длины с поперечным сечением каждого в  $1 \text{ мм}^2$ . Пусть один пруток будет железный, а другие из различных сортов стали. Закрепим одни концы прутков, а к другим концам будем подвешивать груз. По мере увеличения груза прутки начнут удлиняться и, наконец, разорвутся. При этом разрыв у всех прутков произойдёт не при одинаковых грузах, и увеличение длины при разрыве у прутков также будет неодинаковым.

Для разрыва железного прутка потребуется меньший груз, но зато удлинение его будет наибольшее. Наоборот, самый большой груз потребуется для разрыва того стального прутка, в котором содержание углерода наибольшее, удлинение же этого прутка будет наименьшее.

На основании проделанного опыта можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее прочен тот пруток, который рвётся при большем разрывающем усилии, т. е. одним из показателей прочности металла является сопротивление разрыву.

Прочность металла определяется предельной нагрузкой в килограммах на  $1 \text{ мм}^2$  площади поперечного сечения испытываемого образца, при которой он разрывается. Эта величина называется временным сопротивлением разрыву и обозначается буквой  $\sigma_b$ .

Если обозначить:  $P$  — предельную нагрузку в килограммах;  $F$  — площадь разрываемого образца в квадратных миллиметрах, то тогда

$$\sigma_b = \frac{P}{F} \text{ кг мм}^2.$$

2. Наиболее вязкий металл тот, который при разрыве больше вытянулся. Это увеличение длины, определяемое измерением до и после испытания на разрыв, называется удлинением и выражается в процентах от первоначальной длины.

3. Углерод увеличивает прочность стали на разрыв и уменьшает её вязкость; таким образом, чем больше в стали углерода, тем больше её временное сопротивление и, наоборот, меньше её вязкость.

Приводимые ниже табл. 5—7 показывают состав и свойства стали в зависимости от содержания в ней углерода (см. стр. 23—26).

**Твёрдость.** Попробуем пилить стальные прутки напильником или рубить их зубилом; мы убедимся, что труднее пилится и рубится тот прут, в котором больше содержится углерода. Свойство металла оказывать сопротивление вдавливанию в него другого какого-либо предмета называется твёрдостью.

Продоланный опыт показывает, что углерод повышает твёрдость стали.

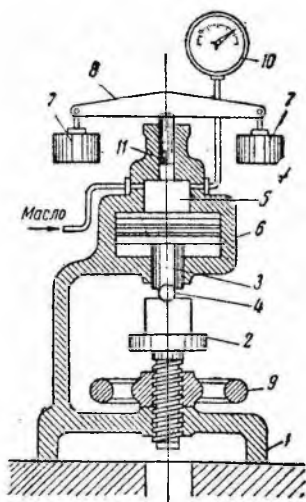
Твёрдость металла определяется различными способами, чаще же всего способом Бринеля. Сущность способа Бринеля заключается в том, что в испытуемый металл вдавливаются с определённым усилием стальной шарик, который оставляет на поверхности металла отпечаток — лунку: чем мягче металл, тем глубже вдавится шарик, т. е. больше будет лунка. По величине лунки и судят о твёрдости данного металла. Твёрдость по Бринелю определяется отношением величины нагрузки в килограммах, вдавливающей шарик, к площади отпечатка шарика в миллиметрах.

Если обозначить  $H_B$  — твёрдость по Бринелю;  $P$  — действующую на шарик силу в килограммах;  $F$  — площадь выдавленной лунки в квадратных миллиметрах, то тогда

$$H_B = \frac{P}{F} \text{ кг. мм}^2.$$

Следовательно, твёрдость по Бринелю определяется в килограммах на квадратный миллиметр ( $\text{кг./мм}^2$ ).

Для определения твёрдости по способу Бринеля употребляется специальный пресс (фиг. 1), состоящий из станины 1, стола 2, поршня 6 со штоком 3 и стального закалённого шарика 4. Поршень помещается в цилиндре 5, в который при помощи насоса накачивается машинное масло, производящее давление на поршень. Величина давления контролируется манометром 10. Второй поршень 11 с коромыслом 8, на конце которого подвешены два груза 7, служит для поддержания постоянного по величине давления. Испытываемый пробный брусок металла кладётся на стол пресса и вращением маховичка 9 подводится вплотную под шарик<sup>1</sup>. После этого из рядом расположенного бака ручным насосом накачивают машинное масло до требуемого давления.



Фиг. 1. Эскиз прибора Бринеля

По достижении полного давления шарик должен находиться под нагрузкой ещё 15—30 сек. Затем масло выпускается и испы-

<sup>1</sup> Перед испытанием поверхность испытуемого материала зачищается напильником или наждачным кругом, расстояние отпечатка от края образца должно быть достаточным, чтобы не было выпучивания края.

түсіміс брусок снімаецца со стала. Обычна в заводскай практыке прымяняецца шарік дыяметрам 10 мм, а велічына даўлення бярэцца 3000 кг. Для вызначэння плошчы адпечатка імяраюць ёго дыяметр пры дапамоцы спецыяльнай дуны. Калі вядомы дыяметр адпечатка і дыяметр шаріка, то далейшэ па спецыяльнай табліцы лёгка вызначыць і лічэбную велічыну твёрдасці па Брынелю. Напрыклад, пры дыяметры адпечатка 5,1 мм (табл. 1)

Табліца 1

Твёрдасць па Брынелю ў залежнасці ад дыяметра адпечатка

(нагрузка 3000 кг, дыяметр шаріка 10 мм)

Дыяметр адпечатка в мм	Число твёрдасці	Дыяметр адпечатка в мм	Число твёрдасці
2,00	946	3,90	241
2,10	857	4,00	228
2,20	782	4,10	217
2,30	713	4,20	207
2,40	652	4,30	196
2,50	600	4,40	187
2,60	555	4,50	179
2,70	512	4,60	170
2,80	477	4,70	163
2,90	444	4,80	156
3,00	418	4,90	149
3,10	387	5,00	143
3,20	364	5,10	137
3,30	340	5,20	131
3,40	321	5,30	126
3,50	302	5,40	121
3,60	286	5,50	116
3,70	269	5,60	112
3,80	255	5,70	107

твёрдасць па Брынелю будзе раўна 137 кг/мм<sup>2</sup>. Прыкладная велічына твёрдасці па Брынелю для розных марак сталі прыведзена ў табл. 5.

Прочнасць, вязкасць і твёрдасць прынята называць механічэскімі ўласцівасцямі металу; яны і вызначаюць механічэскія якасці яго.

**Закалка і аджыг.** Нагреем пруткі докрасна і хутка ахладзім іх у вады; твёрдасць жалезнага прутка ад гэтага не зменіцца, твёрдасць жа сталёвых пруткоў павыснецца і твёржэ будзе тое, ў якім змяшчаецца вуглерод большэ. Спосабаць нагрэтай докрасна сталі прыбыткаць пры хуткім ахаладжэнні павышэнную твёрдасць называецца **закалкай**.

Наадварот, калі закалёную сталь нагрэць докрасна і затым, медленна ахладзіць, то яна зноў прыбыткае мяккасць і вязкасць. Такай від тэпловай ці тэрмічнай апрацоўкі металу называецца **аджыгом**.

Свариваемость, ковкость и плавление. Нагреем концы железных и стальных прутков добела и наложим их друг на друга — конец железного прутка на железный, стального на стальной. После этого ударом молота сожмём их плотно; мы увидим, что концы прутков плотно соединились в одно целое или, как говорят, «сварились». Заметим, что лучше сваривается железо и хуже — сталь с большим содержанием углерода.

Наконец, попробуем ковать куски железа и различной стали; мы убедимся, что железо куётся лучше стали, а из сталей хуже всех куётся та, в которой содержание углерода наибольшее. Примеси кремния и марганца ухудшают свойства свариваемости иковки; сталь с содержанием кремния свыше 0,35% или с содержанием марганца свыше 1% не сваривается и плохо куётся. Температура плавления железа и стали зависит от содержания углерода: чем больше углерода, тем ниже температура плавления. Технически чистое железо плавится при температуре 1520°, сталь — при 1350° и выше.

Приведённые опыты позволяют установить следующую характеристику для железа и стали.

Железо и малоуглеродистая сталь — мягкий, вязкий металл, хорошо куётся, не закаливается и хорошо сваривается.

Сталь — более прочный и твёрдый металл, куётся и сваривается хуже железа, закаливается.

В настоящее время в промышленности нет разделения на железо и сталь — все сплавы железа с содержанием углерода до 1,6% условились называть сталью. Практически все же различают железо и сталь по указанным признакам.

Красноломкость и хладноломкость. Примесь серы делает сталь красноломкой, т. е. хрупкой при красном калении; такая сталь не может коваться и свариваться. Поэтому сера является вредной примесью и содержание её в хороших сталях не должно превышать 0,045%.

Также вредной является примесь фосфора: он делает сталь хладноломкой, т. е. хрупкой в холодном виде. Содержание фосфора в сталях не должно превышать 0,05%.

Значение примесей. Углерод является главной примесью, определяющей свойства стали. Сера и фосфор являются примесями вредными и потому нежелательными. Особенно нежелательна примесь серы; с повышением количества этой примеси необходимо всемерно бороться как при производстве металлов, так и при нагревании их для дальнейшей горячей обработки, так как сера из топлива переходит в металл.

Сталь, имеющая в своём составе железо, углерод, кремний, марганец, серу и фосфор, называется углеродистой сталью.

Специальные стали. В промышленности за последнее время нашли широкое применение специальные или легированные стали, получаемые путём добавления специальных примесей (никеля, вольфрама, ванадия и др.) — одной или нескольких. В зависимости от присадки (добавления) примесей сталь получает

соответствующее название: никелевой, хромистой, хромоникелевой и пр. Эти стали благодаря специальным примесям приобретают ряд ценных свойств.

Никелевая сталь имеет повышенную прочность и вязкость по сравнению с углеродистой сталью; применяется она как конструкционная. Обычное содержание в ней никеля 1—4%. Сталь, содержащая 25—28% никеля, становится немагнитной и хорошо сопротивляется ржавлению; это так называемая нержавеющая сталь. При нагреве никелевые стали образуют трудно отделимую липкую окалину и потому нагрев таких сталей нужно вести при наименьшем избытке воздуха.

Хромистая сталь имеет повышенную твёрдость, следовательно высокое сопротивление износу и раздавливанию. Обычное содержание в ней хрома 1—3%; применяется эта сталь как конструкционная и инструментальная. Сталь с содержанием 12—14% хрома становится нержавеющей. Хромистая сталь легко приобретает закалку, даже на воздухе, т. е. обладает способностью самозакаливанию.

Хромоникелевая сталь имеет повышенную прочность, твёрдость и вязкость. Эта сталь хорошо сопротивляется удару; применяется в автомобильной и авиационной промышленности. Содержание в ней хрома 1—1,5%, никеля 2—4%. Сталь при высоком содержании хрома и никеля становится нержавеющей.

Хромовольфрамовая сталь имеет после термообработки большую твёрдость, которая не теряется даже при красном калении (500—600°), и способность самозакаливанию (самозакалка); применяется для изготовления высококачественного инструмента, которым можно обрабатывать металл на весьма больших скоростях. Эта сталь называется быстрорежущей сталью. В её состав входят: углерод 0,6—0,8%, хром 3—5% и вольфрам 12—20%.

Марганцовистая сталь имеет повышенную прочность и твёрдость при пониженной вязкости. Содержание в ней марганца 0,9—4%. Наилучшей считается сталь Гадфильда с содержанием 11—13% марганца; она хорошо противостоит износу. Из этой стали изготавливают крестовины и стрелки железнодорожных путей, части дробилок и т. п. Марганцовистая сталь имеет интересное свойство: при закаливании в воде она делается мягкой, отжиг же делает её твёрдой. Нагрев этой стали необходимо вести крайне медленно и равномерно, не допуская перегрева.

Кремнистая сталь имеет повышенную прочность и упругость; она содержит кремния 0,5—2,5% и идёт на изготовление рессор, пружин и т. п.

Дополнительные примеси к специальным сталям. В качестве дополнительных примесей к специальным сталям употребляются молибден, ванадий и др.

Молибден добавляется в количестве 0,2—1% главным образом к никелевой и хромоникелевой стали для повышения прочности.



Ванадий повышает прочность и вязкость; сталь с примесью ванадия хорошо сопротивляется ударам. Добавляется к конструкционной и инструментальной сталям в количестве 0,1—2%.

**Свойства специальных сталей.** Ковкость большинства специальных сталей ниже, чем углеродистых. Особенно легко получают трещины при ковке (при температурах ниже нормальных) вольфрамовых, хромистых и хромоникелевых сортов стали.

Свариваемость у специальных сталей также понижена; некоторые же сорта марганцовистой, хромистой и вольфрамовой сталей совсем не свариваются.

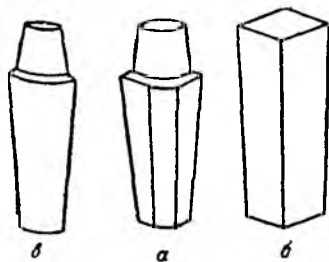
Нагрев специальных сталей и высокоуглеродистых, вследствие их малой теплопроводности, необходимо вести очень осторожно, — в отдельных случаях (марганцовистые, хромоникелевые и другие стали) обязательно с предварительным медленным подогревом во избежание образования трещин.

Для повышения полезных свойств специальных сталей их обязательно нужно подвергать термической обработке (закалке, отпуску и др.). Специальные стали, не подвергнутые термической обработке, имеют низкие качества и употребление их бесцельно.

**Строение стали.** Сталь представляет собой массу, которая состоит из громадного количества мелких кристалликов — зёрен (фиг. 2). Эти отдельные зёрна плотно соприкасаются между собой и составляют одно целое. Сталь мелкозернистого строения имеет большую прочность и твёрдость, чем сталь крупнозернистая. Специальные примеси также способствуют образованию мелкозернистого строения стали. Кроме того, некоторые специальные примеси препятствуют росту зёрен при нагреве стали. Об этом и вообще об явлениях, происходящих со сталью при нагреве, подробно изложено в главе IX.



Фиг. 2. Строение металла



Фиг. 3. Стальные слитки

#### 4. Слитки и заготовки

**Форма, размер, вес и качество слитков.** Выплавленную сталь разливают в специальные формы — изложницы, где она застывает в виде стальных слитков.

Слитки отливают различной формы (фиг. 3): многогранными а, квадратными б и, реже, круглыми в.

Вес слитков углеродистой машиноподелочной стали колеблется

от 0,5 до 50 т. Слитки до 7 т отливаются квадратными, от 7 до 12 т — шестигранными, свыше 12 т — восьмигранными. Длина слитка в 2½—4 раза больше его поперечного размера. Слитки специальных сталей отливаются весом от 0,25 т и выше.

Часть слитков идёт в кузнечный цех для изготовления крупных поковок; другая же, большая часть, идёт в прокатку. Здесь прокатными станами слитки в нагретом состоянии раскатываются на заготовки, листы, полосы и фасонные сорта различных профи-



Фиг. 4. Фасонный прокат

лей (фиг. 4): углового а, таврового б, двутаврового в, корытного г, рельсового д и пр.

Из материалов проката в кузнечный цех поступают заготовки различных размеров и профилей (фиг. 5): плоского а, квадратного б, круглого в и др. Квадратная заготовка идёт с размером стороны квадрата от 50 до 300 мм. Более тонкая заготовка бывает обычно круглого сечения.



Фиг. 5. Заготовки

Зная линейные размеры заготовки (размеры поперечного сечения и длину) и удельный вес<sup>1</sup> данного металла (табл. 2), легко можно определить вес этой заготовки.

Пример. Требуется определить вес стальной заготовки, имеющей длину 150 см, ширину 30 см и толщину 25 см.

Подсчитываем объём заготовки:

$$30 \cdot 25 \cdot 150 = 112\,500 \text{ см}^3.$$

Согласно табл. 2, принимаем удельный вес стали равным 7,8.

Следовательно, вес заготовки будет равен:

$$112\,500 \cdot 7,8 = 880\,000, \text{ или } 880 \text{ кг.}$$

В приложении 1, для заготовок различной формы, указаны веса одного метра длины заготовки в зависимости от её толщины.

Необходимо помнить, что качество слитка ниже качества заготовки, так как катаная заготовка является материалом, уже частично обработанным, т. е. имеет качества, сходные с поковкой, а мы знаем, что качество поковки выше качества отливки. Следовательно, при изготовлении поковок из слитка требуется тщательная, глубокая ковка.

Таблица 2

Удельный вес металлов

Материал	Удельный вес
Алюминий . . . . .	2,7
Сталь . . . . .	7,8
Медь . . . . .	8,9

<sup>1</sup> Удельным весом называется вес одного кубического сантиметра вещества в граммах.

**Пороки.** Пороки в слитках и заготовках в большинстве случаев неисправимы, но они обязательно должны быть выявлены и притом своевременно, так как иначе они явятся причиной брака в поковках и, возможно, брака скрывтого. Поэтому тщательный осмотр материала перед ковкой для выявления пороков является одной из ответственных работ в кузнечном производстве. К порокам относятся: пустоты, трещины, посторонние включения, неравномерное распределение примесей (ликвация) и плены.

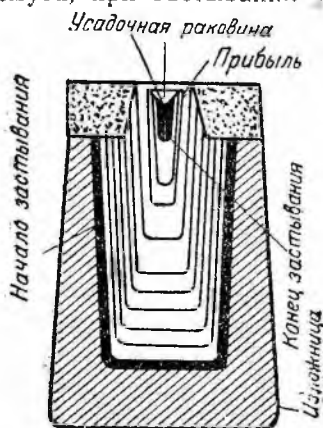
Рассмотрим причины возникновения пороков и их вред для поковок.

**Пустоты.** Пустоты в слитках встречаются в виде усадочных раковин и газовых пузырей.

Усадочная раковина образуется вследствие того, что все металлы, за исключением олова и висмута, при застывании уменьшаются в объеме, — как говорят, дают усадку.



Фиг. 6. Образование усадочной раковины



Фиг. 7. Слиток с прибылью

Нам известно, что для получения слитка сталь заливают в специальную форму — изложницу. Расплавленный металл, соприкасаясь с холодными стенками изложницы, затвердевает сначала с поверхности, вследствие чего образуется как бы металлический сосуд с расплавленным металлом (на фиг. 6 стенки сосуда показаны черным). По мере дальнейшего остывания стенки этого сосуда утолщаются, нарастают (нарастание стенок показано на фигуре тонкими линиями), объем же металла при этом уменьшается, т. е. происходит усадка (приблизительно на 2%), в результате чего внутри слитка образуется пустота в виде воронки. Очевидно, что воронка будет около того места, где металл застыл последним, т. е. вверху; такая воронкообразная пустота называется усадочной раковинной.

Чтобы не портить слиток усадочной раковинной, его отливают со специальной надставкой, называемой прибылью. При заливке металла надставку обкладывают огнеупорной массой, чтобы металл в ней застывал последним, и тогда усадочная раковина образуется в прибыли (фиг. 7), которую при ковке отрубают. При не-

достаточном размере прибыли, небрежном отделении её от слитка или глубокой раковине часть её может остаться в слитке и послужить причиной брака поковки.

**Газовые пузыри.** Газовые пузыри образуются вследствие того, что при плавке сталь поглощает газы. Часть этих газов остаётся в застывшем слитке и образует пустоты, называемые газовыми пузырями. В большинстве случаев они образуются в наружных слоях слитка и являются одной из причин появления мелких трещин — волосовин — на поверхности заготовки. Внутренние пузыри при прокатке и ковке могут завариваться или же образуют плёны (см. ниже). Волосовины и плёны необходимо своевременно вырубать.

**Трещины.** Трещины в слитках образуются вследствие быстрого или неравномерного охлаждения. В заготовках и поковках трещины образуются вследствие неправильного (неравномерного или быстрого) нагрева и обработки при прокатке и ковке. Часто трещины образуются в твёрдых и специальных сортах стали. При внимательном осмотре трещины в слитках и в заготовках всегда могут быть замечены и должны быть тщательно вырублены.

**Посторонние включения.** Посторонними включениями бывают песочины, частички шлака (шлаковые включения), золы и пр.; они чаще всего являются причиной брака поковки.

**Песочины** — это мелкие частицы огнеупорных материалов, попадающие в сталь при плавке и заливке из футеровки печи, изложниц и разливочных ковшей. Они обнаруживаются в поковке, обычно при механической обработке, в виде светлых жилок или чёрточек порошкообразного вещества; их вырубают, и если они неглубоки, то поковку удаётся спасти; все другие включения также необходимо вырубать.

**Ликвация.** Неравномерное распределение примесей делает сталь неоднородной, вследствие чего прочность стали и другие свойства её в различных местах поковки оказываются неодинаковыми. Наиболее подвержены ликвации углерод, сера, фосфор и специальные примеси; скопление примесей наблюдается в тех частях слитка, где металл застывает последним, т. е. под усадочной раковиной. Поэтому у слитка материал верхней части получается недоброкачественным и эту часть отрезают (обычно в объёме  $\frac{1}{3}$  слитка) и переплавляют вновь.

**Плёны.** При заливке в изложницы металл может забрызгать её стенки. Брызги металла, попадая на холодную стенку изложницы, охлаждаются и могут не свариться с общей массой металла, а образовать плёны. Такие плёны образуются на поверхности и могут быть легко вырублены.

Кроме того, при заливке в изложницы недостаточно прогретого металла на поверхности его в начале заливки получается корочка, которая может не раствориться и образовать так называемый заворот. При прокатке заворот служит причиной образования опасных плён и трещин.

**Маркировка.** Контроль за качеством выплавляемой стали ведётся путём регистрации каждой плавки. Для этого от каждой

плавки берётся проба для определения состава стали (количества примесей) и испытания механических свойств (разрыв и др.).

На основании данных испытания стали каждой плавки производят маркировку слитков и крупных заготовок, проставляя на них

Таблица 3

**Условная окраска качественной углеродистой стали**

Марка стали	Цвет	Марка стали	Цвет
10	Белый+черный	15Г	Коричневый+синий
15	Белый+синий	45Г2	Коричневый+розовый
20	Белый+зелёный	50Г	Коричневый+красный
25	Белый+зелёный	50Г2	Коричневый+красный
30	Белый+жёлтый	60Г	Коричневый+фиолетовый
35	Белый+жёлтый	65Г	Коричневый+фиолетовый
40	Белый+розовый		
45	Белый+розовый		
50	Белый+красный		

Таблица 4

**Условная окраска конструкционной специальной стали**

Марка стали	Полоса	Кольцо
15Х	Зелёная	Синее
20Х	Зелёная	Зелёное
30Х	Зелёная	Жёлтое
35Х	Зелёная	Жёлтое
40Х	Зелёная	Розовое
45Х	Зелёная	Розовое
15ХФ	Фиолетовая+зелёная	Синее
20ХН	Синяя+зелёная	Зелёное
40ХН	Синяя+зелёная	Розовое
12ХН2	Синяя+зелёная	Синее
12ХН3	Синяя+зелёная	Синее
15ХА	Зелёная	Белая+синее
38ХА	Зелёная	Белая+жёлтое
30ХМА	Розовая+зелёная	Белая+жёлтое
12ХН2А	Синяя+зелёная	Белая+синее
42ХН3А	Синяя+зелёная	Белая+синее
18ХН3А	Синяя+жёлтая+зелёная	Белая+зелёное
20ХН3А	Синяя+зелёная	Белая+зелёное

марку стали, номер плавки и клеймо завода. Кроме того, для лучшего различения марок торцы заготовок окрашиваются в установленные цвета (табл. 3 и 4). Мелкие заготовки в большинстве случаев не клеймятся, а только окрашиваются на концах в соответствующий марке цвет.

Маркировка стали имеет большое значение; её основная цель заключается в том, чтобы облегчить распознавание металла и тем самым предупредить возможность перепутывания слитков и заго-

товок. К каким серьезным последствиям и убытку может привести перепутывание металла при ковке, очевидно.

Кроме того, слитки и заготовки подвергаются наружному осмотру для выявления плён, трещин, раковин и других пороков.



Фиг. 8. Вырубка пороков

Замеченные пороки должны быть тщательно вырублены, края же капавок необходимо развалить, т. е. сделать пологими, иначе канавки при ковке образуют складки в металле.

На фиг. 8 показаны вырубки, сделанные неправильно (а) и правильно (б).

## 5. Сорта и марки стали

*Разделение стали.* Стали, как углеродистая, так и специальная (легированная), в зависимости от назначения разделяются на три группы:

1) конструкционную или машиноподелочную сталь, которая должна иметь достаточную прочность, вязкость и должна легко обрабатываться;

2) инструментальную сталь, обладающую после термообработки большей твёрдостью, так как она идёт главным образом для изготовления режущего инструмента;

3) стали специального назначения, имеющие особые свойства, например: магнитные, нержавеющие, кислотоупорные, жаростойкие, немагнитные и др.

Углеродистая сталь с содержанием углерода менее 0,5% относится к конструкционной стали, а с содержанием углерода 0,6—1,6% — к инструментальной стали.

По твёрдости стали подразделяются следующим образом:

1) очень мягкая сталь — с содержанием углерода 0,06—0,15%;

2) мягкая сталь — с содержанием углерода 0,15—0,30%;

3) сталь средней твёрдости — с содержанием углерода 0,35—0,6%;

4) твёрдая сталь — с содержанием углерода 0,6—0,9%;

5) очень твёрдая сталь — с содержанием углерода 0,9—1,6%.

В СССР наиболее употребительные сорта стали стандартизованы, т. е. выработано несколько сортов, определяемых нормами содержания примесей. Эти сорта стали выпускаются на рынок в виде установленного сортамента.

Углеродистая «конструкционная» сталь. Эта сталь в свою очередь делится на три группы:

1) обыкновенная углеродистая сталь ОСТ 2897;

2) качественная сталь с нормальным содержанием марганца ОСТ 7123;

3) качественная сталь с повышенным содержанием марганца ОСТ 7123.

Данные об обыкновенной углеродистой стали приводятся в табл. 5.

Таблица 5

## Обыкновенная углеродистая сталь (по ГОСТ НКТП 2897)

Марка стали	Временное сопротивление разрыву в кг/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение в %	Приблизительное содержание углерода в %	Твердость по Бринеллю не более	Условные цвета окраски
Ст. 1	32—40	28—33	0,07—0,12	132	Белый
Ст. 2	34—42	26—31	0,09—0,13	132	Желтый
Ст. 3	38—45	24—26	0,13—0,20	132	Красный
Ст. 3	38—45	24—28	0,13—0,20	132	
повыш.					
Ст. 4	42—50	20—24	0,17—0,27	152	Черный
Ст. 5	50—60	16—20	0,26—0,37	170	Зеленый
Ст. 5					
повыш.					
Ст. 6	50—60	18—22	0,26—0,37	170	
Ст. 6	60—70	12—14	0,35—0,5	201	Синий

Качественная сталь с нормальным содержанием марганца имеет 10 марок (табл. 7). Каждая марка условно обозначается двумя цифрами, которые показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Качественная сталь с повышенным содержанием марганца имеет 7 марок (табл. 7). Каждая марка обозначается двумя цифрами слева буквы Г и одной цифрой справа. Первые две цифры показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, буква Г обозначает марганец, а цифра справа неё показывает приблизительное содержание марганца, если оно выше 1%.

Специальная конструкционная сталь. Эта сталь делится на два класса (ОСТ 7124):

- 1) класс качественных сталей;
- 2) класс высококачественных сталей.

Второй класс обозначается маркой с буквой А (табл. 6). Двухзначные цифры с левой стороны букв в графе «Марка стали» обозначают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Буквы, стоящие справа от цифр, выражающих среднее процентное содержание углерода, обозначают:

В . . . . .	вольфрам	Ю . . . . .	алюминий
М . . . . .	молибден	Ф . . . . .	ванадий
Н . . . . .	никель	Х . . . . .	хром

Цифры за буквами указывают процентное содержание соответствующих элементов, если оно выше 1%.

Углеродистая «инструментальная» сталь. Углеродистая инструментальная сталь делится на два класса (ОСТ 4956):

- 1) класс обыкновенной стали;
- 2) класс высококачественной стали.

Марка стали	Содержание элементов		
	углерод	марганец	кремний
			I класс качества
15X	0,10—0,20	0,30—0,60	0,17—0,37
20X	0,15—0,25	0,30—0,60	0,17—0,37
30X	0,25—0,35	0,50—0,80	0,17—0,37
35X	0,30—0,40	0,50—0,80	0,17—0,37
40X	0,35—0,45	0,50—0,80	0,17—0,37
45X	0,40—0,50	0,50—0,80	0,17—0,37
15XΦ	0,12—0,20	0,30—0,60	0,17—0,37
15HM	0,10—0,20	0,40—0,70	0,17—0,37
20XГ	0,15—0,25	0,90—1,20	0,17—0,37
40XH	0,35—0,45	0,50—0,80	0,17—0,37
50XH	0,45—0,55	0,50—0,80	0,17—0,37
12XH2	0,17	0,30—1,60	0,17—0,37
12XH3	0,17	0,25—0,55	0,17—0,37
			II класс высококачественный
12X2H4	0,17	0,30—0,60	0,17—0,37
15XA	0,12—0,20	0,30—0,60	0,17—0,37
38XA	0,34—0,42	0,50—0,80	0,17—0,37
30XMA	0,25—0,35	0,40—0,70	0,17—0,37
12XH2A	0,17	0,30—0,60	0,17—0,37
12XH3A	0,17	0,25—0,55	0,17—0,37
20XH3A	0,15—0,25	0,30—0,60	0,17—0,37
12X2H4A	0,17	0,30—0,60	0,17—0,37
18XHBA	0,15—0,22	0,25—0,55	0,17—0,37
25XHBA	0,20—0,30	0,25—0,55	0,17—0,37
35XЮA	0,30—0,40	0,30—0,60	0,17—0,37
35XMIОA	0,30—0,38	0,30—0,60	0,17—0,37



Таблица 6

ванадия сталь (по <sup>ССТ</sup> НКТП 7124)

тов в процентах

хром	никель	прочие	сера	фосфор	сумма серы и фосфора
<b>легированных сталей</b>					
0,70—1,00	0,30	—	0,040	0,040	0,075
0,70—1,00	0,30	—	0,040	0,040	0,075
0,80—1,10	0,30	—	0,040	0,040	0,075
0,80—1,10	0,30	—	0,040	0,040	0,075
0,80—1,10	0,30	—	0,040	0,040	0,075
0,80—1,10	0,30	—	0,040	0,040	0,075
0,80—1,10	0,30	Ванадий 0,10—0,20	0,040	0,040	0,075
0,30	1,5—2,00	Молибден 0,20—0,30			
0,90—1,20	0,30	—	0,040	0,040	0,075
0,45—0,75	1,00—1,50	—	0,040	0,040	0,075
0,45—0,75	1,00—1,50	—	0,040	0,040	0,075
0,60—0,90	1,50—2,00	—	0,040	0,040	0,075
0,60—0,90	2,75—3,25	—	0,040	0,040	0,075
<b>легированных сталей</b>					
1,25—1,75	3,25—3,75	—	0,040	0,040	0,075
1,70—1,0	0,30	—	0,030	0,035	0,060
0,80—1,10	0,30	—	0,030	0,035	0,060
0,80—1,10	0,30	Молибден 0,15—0,25	0,030	0,035	0,060
0,60—0,90	1,50—2,00	—	0,030	0,035	0,060
0,60—0,90	2,75—3,25	—	0,030	0,035	0,060
0,60—0,90	2,75—3,25	—	0,030	0,035	0,060
1,25—1,75	3,25—3,75	—	0,030	0,035	0,060
1,35—1,65	4,10—4,60	Вольфрам 0,8—1,20 или молибден 0,25—0,45	0,030	0,035	0,060
1,35—1,65	4,10—4,60	Вольфрам 0,8—1,20 или молибден 0,75—0,45	0,030	0,035	0,060
1,35—1,65	0,50	Алюминий 0,75—1,25	0,030	0,035	0,060
1,35—1,65	0,50	Алюминий 0,75—1,25 и молибден 0,40—0,60	0,030	0,035	0,060

Качественная углеродистая сталь  
(по ОСТ  
НКТП 7123)

Марка стали	Содержание элементов в процентах							
	углерод	марганец	кремний	сера	фосфор	сумма серы и фосфора не более	никель	хром

## I. Группа сталей с нормальным содержанием марганца

8	0,05—0,12	0,25—0,50	0,03	0,045	0,015	0,080	0,30	0,25
10	0,05—0,15	0,35—0,65	0,30	0,045	0,015	0,080	0,30	0,25
15	0,10—0,20	0,35—0,65	0,35	0,045	0,015	0,080	0,30	0,25
20	0,15—0,25	0,35—0,65	0,17—0,37	0,045	0,015	0,080	0,30	0,25
25	0,20—0,30	0,50—0,80	0,17—0,37	0,045	0,015	0,080	0,30	0,25
30	0,25—0,35	0,50—0,80	0,17—0,37	0,045	0,015	0,080	0,30	0,25
35	0,30—0,40	0,50—0,80	0,17—0,37	0,045	0,015	0,080	0,30	0,25
40	0,35—0,45	0,50—0,80	0,17—0,37	0,045	0,015	0,080	0,30	0,25
45	0,40—0,50	0,50—0,80	0,17—0,37	0,045	0,015	0,080	0,30	0,25
50	0,45—0,55	0,50—0,80	0,17—0,37	0,045	0,015	0,080	0,30	0,25

## II. Группа сталей с повышенным содержанием марганца

15Г	0,10—0,20	0,70—1,00	0,35	0,045	0,040	0,080	0,30	0,25
30Г2	0,15—0,25	1,40—1,80	0,17—0,37	0,045	0,040	0,080	0,30	0,25
45Г2	0,25—0,35	1,40—0,80	0,17—0,37	0,045	0,040	0,080	0,30	0,25
50Г	0,25—0,35	0,70—1,00	0,17—0,37	0,045	0,040	0,080	0,30	0,25
50Г2	0,25—0,35	1,40—1,80	0,17—0,37	0,045	0,040	0,080	0,30	0,25
60Г	0,55—0,65	0,70—1,00	0,17—0,37	0,045	0,040	0,080	0,30	0,25
65Г	0,60—0,70	0,70—1,00	0,17—0,37	0,045	0,040	0,080	0,30	0,25

Оба класса имеют по 6 марок. Второй класс обозначается маркой с буквой А. Буква У обозначает углеродистую сталь, цифры показывают среднее содержание углерода в десятых долях процента. Например, У7А есть сталь инструментальная углеродистая высококачественная со средним содержанием углерода 0,7%.

Специальная «инструментальная» сталь. Данные об этой стали приводятся в ГОСТ 4957 и 4958.

## Глава III

### ТОПЛИВО

#### 1. Общие сведения

**Значение топлива.** Топливом принято называть вещество, способное при горении выделять тепло. Топливо встречается в природе в твёрдом, жидком и, реже, газообразном состояниях.

Значение топлива для жизни человека громадно: оно не только необходимо для отопления жилищ и приготовления пищи, но и является одним из главных источников энергии в технике. Говоря о топливе как об источнике энергии, имеют в виду способность топлива производить работу, т. е. быть двигательной силой для фабрик, заводов, железных дорог и т. д. Энергия в топливе содержится в скрытом состоянии и для превращения её в двигательную силу топливо необходимо сжигать. Сжигают топливо или непосредственно в машинах (двигатели внутреннего сгорания) или в топках паровых котлов. В последнем случае тепло, получаемым при горении, нагревают воду, превращая её в пар, который приводит в движение паровозы, пароходы, паровые молоты и другие машины заводов и фабрик.

Кроме двигательной силы топливо является источником тепла для производства металлов (плавка руд) и их дальнейшей горячей обработки (прокатка, ковка и пр.).

Основные виды топлива: каменный уголь, нефть, дрова и торф; они используются в наибольших количествах.

Необходимо, однако, отметить, что процент потребления дров как топлива с каждым годом падает, так как древесина используется более целесообразно для других целей (изготовление бумаги, искусственного шёлка и пр.).

**Измерение тепла.** При сгорании топлива выделяется некоторое количество тепла, которое может быть измерено. Для измерения тепла принята специальная единица, равная такому количеству тепла, которое необходимо для подогрева 1 кг воды на один градус ( $^{\circ}\text{C}$ ). Эта единица тепла называется калорией.

Следовательно, для нагрева 1 кг воды от 0 до  $100^{\circ}$  (до кипения) потребуются тепла в 100 раз больше, т. е. 100 калорий.

**Теплопроизводительность топлива.** Выясним, одинаковое ли количество тепла выделяется при сгорании различного топлива.

Возьмём килограмм воды и будем нагревать её до кипения; в первом случае; сжигая уголь, во втором — дрова. Мы убедимся, что для этого дров (по весу) придётся сжечь больше, чем угля. На производстве мы также убеждаемся, что для нагрева одного и того же количества металла приходится угля сжигать больше, чем нефти.

Итак, равные весовые количества различного топлива при сгорании выделяют различные количества тепла.

Количество калорий, которое выделяется при сгорании 1 кг топлива, называется теплотворной способностью, или теплопроизводительностью топлива.

Теплотворная способность газового топлива определяется количеством тепла (в калориях), выделяемого при сгорании 1 м<sup>3</sup> газа. Теплотворная способность топлива может быть определена опытным путём или вычислена по данным анализа состава топлива.

Определение теплопроизводительности топлива опытным путём производится в специальном приборе — калориметре. Здесь проба топлива сжигается в так называемой калориметрической бомбе, погружённой в сосуд с водой. После сжигания пробы температура воды в сосуде повышается.

Определив разность температур воды до и после опыта и зная количество воды, можно подсчитать количество калорий, которое выделилось при сгорании пробы топлива, т. е. определить теплотворную способность его.

Топливо содержит некоторое количество влаги; кроме того, часть водорода, входящего в состав топлива при горении, переходит в воду. В процессе горения топлива вода испаряется, на что затрачивается определённое количество тепла, которое не может быть использовано в печи. Это приводит к уменьшению теплопроизводительности топлива. Поэтому различают два вида теплотворной способности топлива: высшую, при которой принимается во внимание и количество тепла, расходуемое на испарение влаги, содержащейся в топливе, и низшую, когда мы из высшей теплотворной способности отбрасываем количество тепла, необходимое для испарения влаги топлива. При сжигании топлива в промышленных установках влага топлива переходит в пар, который вместе с газообразными продуктами горения (дымом) уходит в атмосферу. Поэтому при всех тепловых расчётах принимается во внимание низшая теплотворная способность топлива; обозначается она  $Q_n$ . При опытном же определении теплотворной способности посредством калориметра получаем высшее её значение. Зная содержание в топливе влаги и водорода, можно сделать пересчёт высшей теплотворной способности на низшую.

Рабочие теплотворные способности различных видов топлива приведены в табл. 8 и 11.

*Условное топливо.* Из табл. 8 видно, что теплопроизводительность торфа составляет 3210 кал., т. е. приблизительно в два раза меньше, чем каменного угля. Теплопроизводительность дров примерно в три раза меньше нефтетоплива и т. д.

Таблица 8

## Характеристика различных видов топлива

Вид топлива	Марка	Зола в %	Вода в %	Рабочая теп- лотворная способность в кал	Экви- валент
Донецкие угли					
Длиннопламенный . . .	Д	17	11	5635	0,81
Газовый . . . . .	Г	13	6	6445	0,92
Паровичный жирный . .	ПЖ	12,5	3,5	6795	0,97
Коксовый . . . . .	К	12	3	6930	0,99
Паровичный спекаю- щийся . . . . .	ПС	12	3	7185	1,03
Тощий . . . . .	Т	11	3	7430	1,06
Донецкий антрацит					
Плита и кулак . . . .	АП	5	4,5	7235	1,04
Крупный орех . . . .	АК	8	4,5	7170	1,02
Мелкий орех . . . . .	АМ	10	4,5	6810	0,97
Семенко . . . . .	АС	17	5	6430	0,92
Штыб . . . . .	АШ	23	6	5890	0,84
Бурый уголь					
Подмосковный крупный	К	20	32	3380	0,49
Подмосковный рядовой мелкий . . . . .	РМ	31	33	2715	0,39
Прочее топливо					
Торф . . . . .	—	6—10	10—30	3210	0,46
Нефтьотливо . . . . .	—	—	—	10000	1,43
Дрова (влажность 25 %)	—	1—2	15—50	3005	0,43

Если взять определённое весовое количество какого-либо топлива за единицу, например тонну каменного угля, то легко рассчитать для сравнения, какое весовое количество другого топлива необходимо сжечь для получения такого же количества тепла, какое выделяет одна тонна каменного угля. При подсчёте потребления топлива за единицу берут каменный уголь с теплотворной способностью 7000 кал; это так называемое условное топливо. Таким образом, 1 т торфа равноценна меньшему весу условного топлива и притом меньшему во столько раз, во сколько теплопроизводительность торфа (3210 кал) меньше теплопроизводительности каменного угля (7000 кал), т. е.

$$7000 : 3210 = 2,1 \text{ раза.}$$

Следовательно, 1 т торфа эквивалентна (равноценна)

$$1000 : 2,1 = 460 \text{ кг, или } 0,46 \text{ т условного топлива.}$$

Число 0,46 и будет практическим эквивалентом торфа.

Эквиваленты различных видов топлива указаны в табл. 8 и ими пользуются при расчётах топлива. Так, например, если кузнечный цех израсходовал в течение месяца 800 т мазута, то для пересчёта в условное топливо умножаем указанное количество на эквивалент мазута 1,43, взятый по таблице. Получаем, что 800 т мазута равноценны  $800 \cdot 1,43 = 1144$  т условного топлива.

## 2. Состав топлива

*Элементы топлива.* Несмотря на то, что одно топливо по виду совершенно не похоже на другое (например мазут на дрова или каменный уголь), все они состоят почти из одних и тех же элементов (веществ) и вся разница в том, что в различных видах топлива эти элементы находятся в различных соединениях. Из каких же элементов состоит топливо?

Элементы, входящие в состав топлива, можно разделить на две группы. Элементы одной группы активно участвуют в горении и составляют горючую часть топлива. В эту группу входят:

Углерод . . . . .	C
Водород . . . . .	H
Сера <sup>1</sup> . . . . .	S

Элементы другой группы не участвуют в горении, являются нежелательными, а некоторые даже вредными, так как понижают теплопроизводительность топлива и мешают правильному горению. Эти элементы составляют негорючую часть топлива — балласт; сюда входят:

Азот . . . . .	N
Кислород . . . . .	O
Вода . . . . .	W
Золь . . . . .	A

Элементы в топливе находятся в виде химических соединений. При сравнительно невысоком подогреве топлива эти соединения выделяются в виде углеводородов и других газов, образуя так называемые летучие соединения. Состав и количество летучих являются одним из основных признаков, характеризующих топливо. Например, чем больше в каменном угле летучих, тем легче он воспламеняется и, следовательно, тем пригоднее будет он в качестве топлива для нагревательных печей. По мере выделения летучих уголь переходит в твёрдый остаток (кокс), являющийся почти чистым углеродом.

Содержание различных составных частей в топливе показано в табл. 8 и 9.

*Горючая часть топлива.* Итак, в состав горючей части топлива входят углерод, водород и сера.

Углерод является основной частью топлива. Представление об углероде даёт древесный уголь, который почти целиком

<sup>1</sup> Часть серы (S) активно участвует в горении, переходя в сернистый газ, другая же часть остаётся в золе топлива.

Донецкие угли

Таблица 9

Сорт угля	Марка	Содержание элементов в беззольном и сухом угле в %			Содержание летучих в %	Характеристика кокса	Поведение угля при горении и его применение
		углерод	водород	(O + N) кислород и азот			
Длинно-пламенный	Д	77,3	5,1	13,5	47	Неспекающийся, порошкообразный	Горит длинным пламенем; вследствие плохого кокса забивает топку. Употребляется преимущественно для получения светильного газа
Газовый	Г	81,0	5,4	10,4	39	Слабо спекающийся, иногда вспученный, рыхлый	Горит длинным пламенем, кокс хорошо выгорает. Сжигается для получения газа и в топках паровых котлов и печей
Паровичный жирный	ПЖ	84,6	5,2	7,6	30,5	Спекающийся, сплавляемый. Умеренно плотный	Горит сравнительно коротким пламенем, сильно спекается; необходимы частые шуровки; кокс выгорает хорошо. Употребляется для получения кокса. Сжигается в топках паровых котлов и др.
Коксовый	Ж	87,0	4,4	6,0	22	То же	Горит коротким пламенем; кокс выгорает хорошо. Употребляется для получения кокса
Паровичный-спекающийся	ПС	88,5	4,6	4,7	17	То же	Горит коротким, менее ярким пламенем; кокс выгорает хорошо. Сжигается преимущественно в топках паровых кот-
Тощий	Т	90,6	4,3	3,5	13	Неспекающийся, порошкообразный	Горит коротким голубоватым пламенем, загорается трудно; кокс выгорает плохо, забивает топку. Сжигается в топках паровых котлов, печей и др.
Антрацит	А	96,0	2,0	2,0	4,5	То же	Загорается трудно, горит почти без пламени. Сжигается в газогенераторах, в топках паровых котлов и др.

состоит из углерода. Воспламеняется углерод при температуре около  $750^{\circ}$ . Теплотворная способность углерода — 8137 кал.

Водород — это газ, воспламеняющийся при температуре около  $600^{\circ}$  и при горении переходящий в воду. Горение водорода топлива не всегда сопровождается выделением тепла; это зависит от того, в каком соединении водород находится. Так, например, водород, соединённый с кислородом<sup>1</sup>, не только не горит, т. е. не даёт тепла, но даже понижает теплотворную способность топлива. Объясняется это тем, что на испарение образующейся из водорода воды затрачивается тепло от других элементов. Если же водород соединён с углеродом или другими элементами, то при горении 1 кг водорода выделяется 28 905 кал тепла.

Сера находится в топливе в различных химических соединениях, часть которых активно участвует в горении. Сгорая, 1 кг серы выделяет 2182 кал тепла. Несмотря на это сера является вредным элементом топлива по следующим причинам: 1) при нагревании металла сернистым топливом сера из топлива переходит в металл; 2) сернистый газ, образующийся при горении серы, разъедает металлические части топки и дымоходов; 3) дым сернистого топлива отравляет воздух, губит растительность и портит окружающие предметы.

**Балласт.** В состав балласта входят азот, кислород, вода и зола.

Азот является инертным газом, т. е. он не горит сам и не способствует горению. Находясь в соединении с другими элементами топлива, он мало понижает их активность при горении, так как легко освобождает соединённые с ним элементы, сам выделяясь в свободном виде.

Кислород, как известно, негорючий газ, но для горения необходим<sup>1</sup>. Содержание его в топливе нельзя признать полезным, так как в лучшем случае он может принять участие в горении, заменив собой часть кислорода воздуха, необходимого для горения. В худшем же случае, находясь в соединении с водородом и другими элементами топлива, он делает их или совсем не горючими или же понижает их активность к горению, т. е. понижает теплотворную способность топлива.

Зола является остатком после сжигания топлива и образуется из минеральных веществ, входящих в состав топлива. При горении зола не только не даёт тепла, но ещё отнимает его у топлива на своё нагревание и потому понижает теплотворную способность топлива. Помимо понижения тепловых свойств топлива зола при горении может плавиться — шлаковаться и этим мешать правильному сжиганию топлива.

Вода — также балласт, отнимающий для своего испарения тепло от других элементов топлива.

**Техническая характеристика топлива.** Наличие больших количеств влаги и золы делает топливо малоценным, т. е. обладающим малой теплотворной способностью. Наоборот, богатое горючим веществом топливо имеет высокую теплотворную способ-

<sup>1</sup> О значении кислорода при горении подробно сказано на стр. 39.



ность и при горении даёт высокую температуру. Содержание золы и воды в различных сортах топлива указано в табл. 8.

Сказанное позволяет сделать следующий вывод: содержание воды, золы, летучих, горючей массы и серы является технической характеристикой для топлива, которая даёт возможность судить о качестве топлива и об особенностях его сжигания. Характеристики различных марок топлива приведены в табл. 8—11.

### 3. Виды и сорта топлива

*Разделение топлива.* Ранее было отмечено, что топливо разделяется на твёрдое, жидкое и газообразное. Добавим к этому, что оно может быть естественным, т. е. находиться в природе в готовом виде, и искусственным, получаемым из естественного путём специальной переработки.

Какие же виды топлива применяются для нагрева металла в кузнечном производстве?

Из естественного топлива наибольшее применение в кузнечном производстве имеет каменный уголь, из искусственного — мазут (нефтяные остатки) и газ, редко — кокс и древесный уголь.

*Каменный уголь.* Как известно, каменный уголь добывается из недр земли. По возрасту различают три категории каменного угля: самый молодой — бурый уголь, средний — собственно каменный уголь и самый старый — антрацит.

Каждая категория угля в свою очередь разделяется на сорта или марки (см. табл. 8 и 9), различающиеся как по теплотворной способности и внешнему виду, так и по свойствам сгорания (угли длиннопламенные, короткопламенные, спекающиеся, неспекающиеся и пр.). Рассмотрим подробнее этот вид топлива.

Бурый уголь является топливом невысокого качества вследствие большого содержания балласта, а именно: золы до 50%, влаги до 20%. Теплотворная способность бурого угля в зависимости от содержания балласта колеблется в пределах от 2500 до 5000 кал. Опасность самовоспламенения создаёт затруднения для хранения и перевозки бурого угля; склонность же к выветриванию превращает его в угольную мелочь, что затрудняет сжигание. Поэтому бурый уголь выгодно использовать главным образом там, где он является местным топливом. Для сжигания в кузнечных печах он мало пригоден.

Каменный уголь — топливо более ценное, чем бурый уголь; обилие имеющихся запасов его в природе даёт возможность широкого применения этого вида топлива.

Содержание серы в каменном угле колеблется от долей процента до 7%; желательно, чтобы содержание серы не превышало 1,5%. Особенности горения различных марок угля и их применения указаны в табл. 9.

В кузнечном производстве для нагрева металла как в горнах, так и в печах сжигание каменного угля получило широкое применение.

В кузнечных горнах сжигается преимущественно жирный уголь (например марки К), который должен быть чёрного цвета со смолистым блеском, величиной кусков с орех; он не даёт угольного мусора и хорошо спекается. Последнее свойство ценно тем, что при спекании угля сверху образуется прочная корка, которая не пропускает жара, сосредоточивая его вокруг нагреваемого предмета.

В кузнечных печах наиболее удобным для сжигания является уголь с большим содержанием летучих, т. е. длиннопламенный и газовый, так как длинное пламя создаёт возможность более равномерного нагрева металла в печи. Из этих сортов наиболее желательным является уголь марки Г.

Удобство сжигания в кузнечных печах углей с большим содержанием летучих ещё далеко не решает вопроса в пользу широкого использования их для этой цели по следующим причинам.

Сорта каменного угля с большим содержанием летучих веществ помимо тепловых свойств имеют и другие, не менее ценные свойства, благодаря которым их целесообразно использовать не на сжигание. В настоящее время из этого угля посредством перегонки выделяют летучие вещества, представляющие ценность для химической промышленности, остающийся же кокс используется как металлургическое топливо. Поэтому в кузнечных печах сжигают топливо с меньшим содержанием летучих, т. е. менее ценное: тощие угли и антрациты.

Антрацит содержит небольшое количество летучих и потому загорается с трудом; он твёрд и хрупок, имеет стальной цвет, металлический блеск и раковистый излом. Содержание серы в антраците — до 3%. При хранении антрацит не самовоспламеняется.

Торф. Торф является сильно оводнённой смесью продуктов разложения различных растений.

По времени образования различают следующие разновидности торфа: 1) волокнистый — самый молодой; 2) землистый — средний по возрасту; 3) смолистый — старый, приближающийся к бурому углю.

В среднем торф содержит 20—60% влаги и 5—30% золы. Высокая влажность и зольность торфа сильно понижают его теплотворную способность. Так, например, торф с влажностью 40% имеет теплотворную способность около 3000 кал.

Малый объёмный вес торфа<sup>1</sup>, низкая теплопроизводительность и способность его превращаться в крошку препятствуют широкому применению торфа для непосредственного сжигания в топках промышленных печей.

Наиболее целесообразно подвергать торф газификации в специальных газогенераторах, а затем этот газ сжигать в печах<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Объёмный вес торфа, т. е. вес 1 м<sup>3</sup>, равен 350—400 кг/м<sup>3</sup> при влажности 25%.

<sup>2</sup> В Советском Союзе имеется ряд заводов, на которых промышленные печи отапливаются торфяным генераторным газом, например Уралмаш и др.

Искусственное твёрдое топливо. К искусственному твёрдому топливу относятся кокс и древесный уголь.

Кокс получается из каменного угля посредством обжига без доступа воздуха, в специальных коксообжигательных печах. В процессе обжига выделяется коксовальный газ, который широко применяется как металлургическое топливо.

Состав кокса: 87% углерода, 4% летучих веществ, 8% золы и 1% серы. Теплотворная способность кокса 7000—8000 кал. В кузнечном производстве кокс применяется главным образом для нагрева в горнах крупных поковок.

*Древесный уголь.* Древесный уголь по своему составу является лучшим твёрдым топливом; в нём содержится очень мало золы и практически совсем не содержится серы. Однако ввиду дороговизны это топливо употребляется редко, — лишь при нагревании наиболее ответственных поковок.

Состав древесного угля: 84% углерода, 14% летучих и 2% золы. Теплотворная способность его 7000—8000 кал.

*Мазут.* Мазут — это искусственное топливо, остаток после отделения из нефти бензина и керосина. Из нефти мазута получается около 66%; он или перерабатывается на смазочные масла или используется как топливо.

Средний состав мазута: 86% углерода, 12% водорода, 1,2% кислорода и азота, 0,05% золы, не более 0,1—0,5% серы и 1—2% влаги. Теплотворная способность мазута 10 000 кал. Средний удельный вес его составляет 0,91, т. е. мазут легче воды.

Мазут является наиболее теплопроизводительным и удобосжигаемым топливом, поэтому он широко применяется в нагревательных печах.

В зависимости от содержания парафина, которое колеблется от 1,5 до 15%, мазут делится на сорта или марки (табл. 10).

Таблица 10  
Характеристика мазута

Марка мазута	Температура застывания в ° С	Вязкость при 50° С	Температура вспышки в ° С
А — обыкновенный	—5 и ниже	7,5	50
Б — слабопарафинистый	от —5 до +8	7,5	60
В — среднепарафинистый	от +8 до +24	8,0	80
Г — сильнопарафинистый	от +24 до +36	9,0	100

Парафинистые мазуты имеют существенный недостаток: они очень вязки и склонны к застыванию даже летом. С увеличением содержания парафина в мазуте вязкость и склонность к застыванию его повышается. Это затрудняет слив при транспортировке парафинистых мазутов и подачу их по трубам к печам.

Под вязкостью подразумевают внутреннее трение между частицами во время движения соседних слоёв жидкости, она за-

висит от силы сцепления между отдельными частицами. Вязкость мазута измеряется специальным прибором — вискозиметром Энглера. Единицей измерения вязкости является число градусов по Энглеру, показывающее отношение времени истечения 200 см<sup>3</sup> испытуемой жидкости через отверстие определённого диаметра к времени истечения такого же количества воды при 20° С. Вязкость мазута при 50° С равняется 8° по Энглеру ( $E_{50} = 8$ ).

Подогрев мазута понижает его вязкость, так как сцепление между частицами уменьшается.

Из табл. 10 видно, что температура застывания мазута колеблется от -5 до +36°, поэтому для слива и подачи по трубам мазута марок В и Г даже летом необходим специальный подогрев. В заводских условиях подогрев мазута обычно производится непосредственно в расходных баках змеевиком, через который пропускают пар.

За подогревом мазута необходимо внимательно следить, поддерживая температуру подогрева соответственно марке мазута, так как перегрев мазута выше температуры вспышки может привести к взрыву и пожару. Наибольшая температура подогрева должна быть на 20° ниже температуры вспышки мазута (табл. 10).

Под температурой вспышки подразумевают ту температуру, при которой пары нефтяного топлива, соприкасаясь с пламенем, дают короткую вспышку.

Таблица 11

Газообразное топливо

Название газа	Рабочая теплотворная способность в кал/м <sup>3</sup>
Доменный газ . . . . .	900
Газ от коксовых печей (коксовальный газ)	4 100
Генераторный газ . . . . .	1 200
Светильный газ . . . . .	4 500
Природный газ . . . . .	8 000
Антрацитовый генераторный газ . . . . .	1 150

*Газообразное топливо.* Газообразное топливо (табл. 11) бывает различного происхождения. В зависимости от этого различают: природный газ, продукты газификации твёрдого топлива — генераторный и светильный газы, а также газы, являющиеся побочными продуктами металлургического производства, — доменный и коксовальный.

В кузнечных нагревательных печах чаще всего применяется генераторный газ.

Сжигание твёрдого топлива непосредственно в печах связано с целым рядом неудобств: трудностью регулирования температу-

ры давления и атмосферы в рабочем пространстве печи, необходимо иметь более сложные печи, трудностью обслуживания, необходимостью иметь лишнюю площадь в цехе для твёрдого топлива, загрязнением цеха и пр. Кроме того, хороший результат в печах получается главным образом при сжигании топлива с высокой теплотворной способностью, т. е. топлива высосортного, дорогого. Всё это и заставило сжигать твёрдое топливо, в том числе и низкосортное, в специальных устройствах, называемых газогенераторами. Здесь из твёрдого топлива выделяют горючий газ, называемый генераторным газом, который затем и подводится по трубам к печам для сжигания.

На фиг. 9 даётся схематическое изображение одного из современных газогенераторов. Сверху расположена закрывающаяся загрузочная воронка 1, сбоку имеется отверстие 2 для выхода образующегося генераторного газа. Внизу помещается поддон 3 с водой, в середине которого находятся колосники 4. Через трубу 5 к генератору подводится воздух, необходимый для горения топлива. Количество воздуха подводится с таким расчётом, чтобы топливо сгорало не полностью, т. е. чтобы выделялся газ, способный гореть.

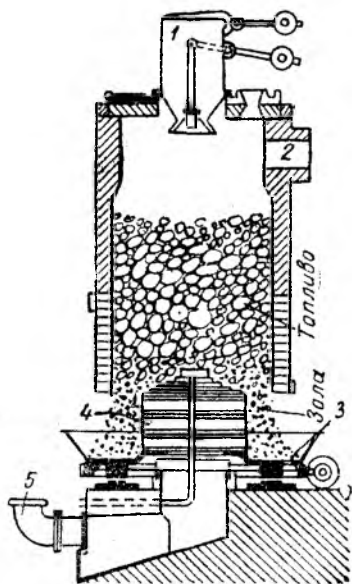
В качестве топлива в газогенераторах используют: бурый уголь, низкосортный каменный уголь, антрацит, торф, дрова и др.

**Выбор топлива.** Какое же топливо наиболее целесообразно сжигать в кузнечных печах? Топливо для кузнечных печей, с технической точки зрения, должно отвечать следующим основным требованиям: 1) быть удобно сжигаемым; 2) обеспечивать требуемый температурный режим для нагрева металла (высокую равномерную температуру); 3) обеспечивать высокую производительность печи.

Не все из рассмотренных видов топлива удовлетворяют предъявляемым требованиям; например, твёрдое топливо для непосредственного сжигания в печах наименее удобно.

Мазут — весьма желательное топливо для кузнечных печей, но широкому применению его мешают чисто экономические соображения, так как нефть и её продукты являются основным горючим для двигателей внутреннего сгорания (тракторов, автомобилей и др.).

В полной мере всем предъявленным требованиям отвечает газобразное топливо и потому за последние годы оно постепенно вытесняет все другие виды топлива.



Фиг. 9. Газогенератор

Наряду с этим вводятся и электрические печи, которые в дальнейшем с удешевлением электрической энергии должны найти широкое применение в кузнечном производстве. В газовых и электрических печах достигается наиболее равномерное нагревание металла; эти печи позволяют содержать цех в опрятном виде.

В отдельных случаях, по экономическим соображениям, вопрос о выборе топлива решается в пользу местного топлива, хотя оно и не в полной мере соответствует техническим требованиям.

## Глава IV

### СЖИГАНИЕ ТОПЛИВА

#### 1. Горение топлива

*Что такое горение.* Нагревательная печь, как и любое промышленное устройство, не только должна выполнять свою работу, т. е. нагревать металл, но и выполнять её экономно, с наименьшими затратами. Чтобы печь экономно работала, нужно правильно сжигать в ней топливо. Как этому научиться?

Горение топлива есть химическое превращение (реакция), при котором углерод и другие горючие элементы топлива соединяются с кислородом воздуха, т. е. окисляются, переходя в газообразные вещества. Это окисление (горение) сопровождается выделением тепла.

Воспламенение топлива. Горение может происходить только при определённых температурных условиях, т. е. для того, чтобы горючее (топливо) воспламенялось, оно предварительно должно разогреться до определённой температуры, зависящей от вида топлива. Эта температура называется температурой воспламенения топлива (значение её для различных видов топлива приводится в табл. 12).

Таблица 12

Температура воспламенения топлива

Виды топлива	Температура воспламенения в °С	Виды топлива	Температура воспламенения в °С
Торф . . . . .	230	Каменный уголь	470
Дрова . . . . .	300	Кокс . . . . .	700
Бурыи уголь . .	450	Антрацит . . . .	700

Зная состав и свойства различных видов топлива, нетрудно сделать вывод, что температура воспламенения топлива зависит от содержания в нём летучих и лёгкости их выделения. Топливо с трудно выделяемыми летучими и с малым их содержанием имеет высокую температуру воспламенения и наоборот.

**Характер горения.** Для горения топлива нужен воздух, причем от количества воздуха зависит полнота сгорания топлива. Вспомним, что все вещества состоят из мельчайших частиц (молекул и атомов) и что химические превращения происходят в вполне определенных соотношениях веществ, участвующих в соединении: частичка одного вещества соединяется с определенным количеством (одной или несколькими) частичек другого вещества. Например, углерод при горении соединяется с кислородом двойко.

1. В одном случае при сгорании топлива одна частичка (молекула) углерода  $C$  соединяется с половиной молекулы кислорода  $O$ . При таком горении выделяется окись углерода  $CO$ , которая в обычных условиях газообразна и носит название угарного газа. Это соединение записывается так:



Такое горение называется **неполным горением** и происходит при недостатке кислорода, т. е. при недостаточном подводе воздуха для горения.

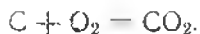
При полном горении, т. е. получении окиси углерода  $CO$  на 1 кг сожженного углерода, выделяется лишь 2407 кал тепла.

В случае дополнительного подвода воздуха окись углерода может соединиться ещё с половиной молекулы кислорода и перейти в другой газ — углекислоту  $CO_2$ :



При этом опять происходит выделение тепла; следовательно, окись углерода может гореть.

2. В другом случае, когда при горении подводится достаточное количество воздуха, углерод сразу сгорает в углекислоту  $CO_2$ :



Такое горение называется **полным горением** и сопровождается выделением наибольшего количества тепла.

При полном сгорании углерода в углекислоту  $CO_2$  на 1 кг углерода выделяется 8080 кал тепла.

Таким образом, для сжигания топлива нужно определенное, зависящее от рода топлива, количество кислорода, а следовательно и воздуха.

**Коэффициент избытка воздуха.** Практически очень трудно достигнуть полного горения без избытка воздуха; поэтому при горении топлива приходится давать воздуха больше, чем это требуется теоретически. Этот избыток воздуха необходим для лучшего перемешивания (соприкосновения) воздуха с топливом. Понятно, что чем лучше перемешивается топливо с воздухом, т. е. чем большая поверхность топлива соприкасается с воздухом, тем полнее и быстрее протекает горение. В свою очередь, чем быстрее протекает процесс горения, тем больше при этом выде-

дится тепла в единицу времени и тем выше будет температура в печи. Ясно, что газообразное и жидкое топливо будет лучше перемешиваться с воздухом, чем твёрдое топливо, а из твёрдых топлив лучше будет перемешиваться то, которое мельче. Отсюда вывод, что избыток воздуха при сжигании твёрдого топлива должен быть больше, чем при сжигании газообразного и жидкого.

Отношение действительного или практического количества воздуха, вводимого в топку для горения, к теоретически необходимому количеству воздуха называется коэффициентом избытка воздуха; обозначается этот коэффициент буквой  $\alpha$ . Значения его следующие:

Для твёрдого топлива . . . . .	1,3—1,6
Для жидкого топлива . . . . .	1,1—1,2
Для газообразного топлива . . . . .	1,05—1,1

Это показывает, что кроме теоретически необходимого количества воздуха подводится для горения дополнительное количество воздуха: для твёрдого топлива 30—60%, для жидкого 10—20% и для газообразного 5—10%.

Зная теоретически необходимое количество воздуха  $L_m$  и значение коэффициента избытка  $\alpha$ , легко вычислить практический расход по формуле:

$$L_n = L_m \cdot \alpha.$$

Большой избыток воздуха при горении вреден, так как лишний воздух охлаждает топку; к тому же нужно помнить, что воздух содержит 21% кислорода O и 79% азота N, и так как последний участия в горении не принимает, то на его нагревание бесполезно будет затрачиваться тепло. Кроме того, сталь и железо в раскалённом состоянии поглощают много кислорода, образуя на поверхности окисел железа (окалину); поэтому, чем больше избыток воздуха при горении, тем интенсивнее происходит окисление, а следовательно и больше будет потеря металла на угар (окалину).

**Количество воздуха и продуктов горения.** Наиболее простой способ расчёта горения топлива основан на следующей зависимости: для всех видов топлива существует прямая зависимость между величиной низшей теплотворной способности  $Q_p$  и теоретическим количеством воздуха  $L_m$ , а также количеством продуктов горения  $V_m$ . Эта зависимость может быть представлена в виде формул, весьма удобных для приближённых, но достаточно практически точных расчётов горения. Эти формулы приведены в табл. 13, расчёт по ним ведётся с предположением, что температура воздуха и продуктов горения равна 0°.

Продукты горения имеют высокую температуру (300—1500°). Известно, что с повышением температуры объём воздуха и газообразных продуктов возрастает: на каждый градус происходит

<sup>1</sup> Формулы проф. Розина.



Таблица 13

## Формулы Розина для расчётов горения

Топливо	Теоретический расход воздуха в $\text{м}^3/\text{кг}$ или $\text{м}^3/\text{м}^3$	Количество продуктов горения в $\text{м}^3/\text{кг}$ или $\text{м}^3/\text{м}^3$
Твёрдое . . . .	$\frac{1,01}{1000} Q_p^* + 0,5$	$0,89 \cdot Q_p^* + 1,66$
Жидкое . . . .	$\frac{0,89}{1000} Q_p^* + 2,0$	$\frac{1,11}{1000} Q_p^*$
Газ бедный . .	$\frac{0,875}{1000} Q_p^*$	$\frac{0,725}{1000} Q_p^* + 1,0$
Газ богатый . .	$\frac{1,09}{1000} Q_p^* + 0,25$	$\frac{1,11}{1000} Q_p^* + 0,25$

увеличение объёма на  $\frac{1}{273}$ . Следовательно, объём продукта горения при температуре  $T^\circ$  будет равен:

$$V_T = V_m + V_m \cdot T^{1/273} = V_m \left(1 + \frac{T}{273}\right).$$

Итак, для определения объёма воздуха или продуктов горения при любой заданной температуре  $T^\circ$  необходимо их объёмы при  $0^\circ$  умножить на  $1 + \frac{T}{273}$ .

**Пример.** В топке кузнечной печи сжигается каменный уголь марки Г, расход угля составляет  $100 \text{ кг/час}$ .

Определить для этого расход воздуха при  $0^\circ$  и количество продуктов горения при  $500^\circ$ .

Подсчитаем теоретический расход воздуха для сжигания  $1 \text{ кг}$  угля по формуле Розина (табл. 13); теплотворную способность угля принимаем  $Q_p^* = 6445 \text{ кал}$  (табл. 8).

$$L_a = \frac{1,01}{1000} Q_p^* + 0,5 = \frac{1,01}{1000} \cdot 6445 + 0,5 = 7,0 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

При коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,5$  практический расход воздуха для сжигания  $1 \text{ кг}$  топлива будет:

$$L_a = L_m \alpha = 7 \cdot 1,5 = 10,5 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Следовательно, практический расход воздуха на  $100 \text{ кг}$  угля составляет:

$$L_a \cdot 100 = 10,5 \cdot 100 = 1050 \text{ м}^3,$$

в секунду

$$\frac{1050}{3600} = 0,295 \text{ м}^3.$$

Количество продуктов горения при сжигании  $1 \text{ кг}$  угля:

$$V_m = \frac{0,89}{1000} Q_p^* + 1,66 = \frac{0,89}{1000} \cdot 6445 + 1,66 = 7,4 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

В рассматриваемом случае продукты горения имеют температуру  $T = 500^\circ$ ; следовательно, объём их при этой температуре будет:

$$V_T = V_{\text{н}} \left(1 + \frac{T}{273}\right) = 7,4 \left(1 + \frac{500}{273}\right) = 21 \text{ м}^3.$$

Количество продуктов горения в секунду при теоретическом расходе воздуха будет:

$$\frac{V_T \cdot 100}{3600} = \frac{21 \cdot 100}{3600} = 0,581 \text{ м}^3.$$

*Регулирование горения.* О характере горения можно судить по виду пламени.

При большом избытке воздуха получается так называемое острое пламя в виде факела из светящихся языков. Таким пламенем нагревать металлы нельзя, так как при этом металл нагревается быстро и неравномерно, а это способствует образованию трещин на поверхности металла. Кроме того, острое пламя увеличивает угар металла.

Уменьшая приток воздуха в топку печи, мы заметим, что факел пламени начнёт расплываться и при определённом притоке воздуха (близком к теоретическому) равномерно заполнит всю нагревательную камеру печи белым (лучше с фиолетовыми полосками) непрозрачным или полупрозрачным пламенем. Такое пламя, называемое пылом или молоком, и есть пламя хорошо работающей кузнечной печи; оно даёт небольшой угар и равномерно нагревает металлы.

Если и дальше уменьшать приток воздуха в топку, то пламя начнёт темнеть и, наконец, появится густой чёрный дым. Это показывает, что часть углерода топлива уже не соединяется с кислородом и в дыме содержатся мелкие частички несгоревших углеводородов, которые дают копоть — дым чёрного цвета. Вот признаки неполного сгорания топлива.

Итак, первая, основная задача при обслуживании кузнечных печей — хорошо, полно сжигать топливо, т. е. сжигать с наименьшими потерями и притом так, чтобы получалось пламя в виде пыла, равномерно заполняющего рабочее пространство печи; для этого необходимо:

1) регулировать приток воздуха в топку, обеспечивая достаточное количество его;

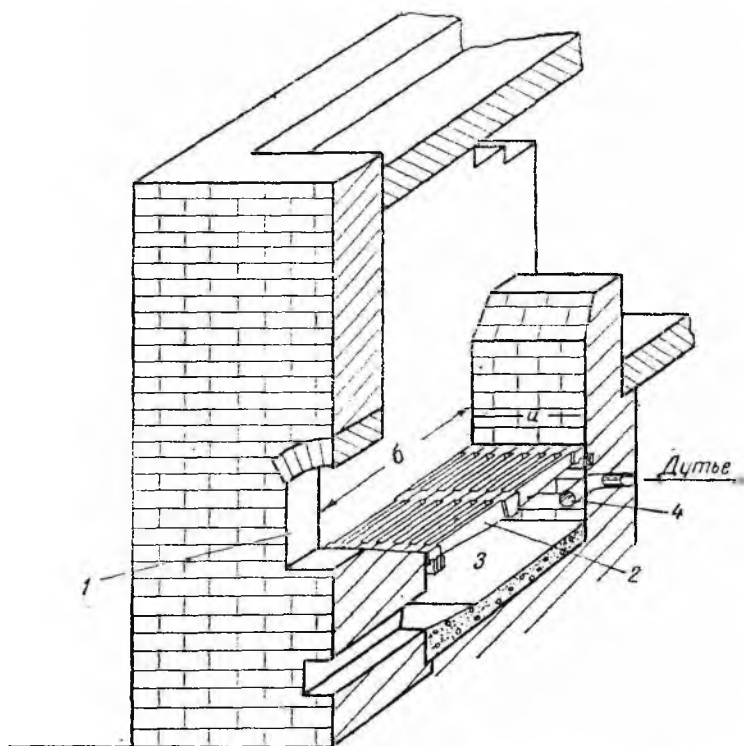
2) следить за хорошим перемешиванием топлива с воздухом, чтобы воздух входил в тесное соприкосновение с каждой частичкой топлива;

3) задерживать пламя в печи (посредством шиберов на дымоходе) на время, необходимое для полного догорания углеводородов в пламени.

Рассмотрим подробнее условия для правильного сжигания различных видов топлива.

## 2. Сжигание твёрдого топлива

Из всех видов топлива наиболее трудно сжигать твёрдое топливо. Трудность эта помимо большого физического напряже-



Фиг. 10. Топка с горизонтальной колосниковой решёткой

ния при обслуживании топки вручную зависит от поведения самого топлива при горении; оно трудно воспламеняется, склонно скоксовываться в слое и образует шлаки, которые иногда полностью нарушают процесс горения.

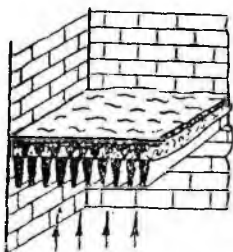
*Устройство топки.* Сжигание твёрдого топлива производится в специальной камере-печи, которая называется топкой (фиг. 10). Топливо забрасывается в топку через шуровочное (рабочее) окно 1 на специальную металлическую решётку 2, называемую колосниковой решёткой; она составлена из отдельных чугунных брусков, называемых колосниками (фиг. 11).

Под колосниковой решёткой находится зольник 3, куда проваливается из топки зола; через него же поступает в топку необходимый для горения воздух. Воздух поступает в зольник или естественной тягой или от вентилятора через отверстие 4. Приток воздуха регулируется задвижкой.

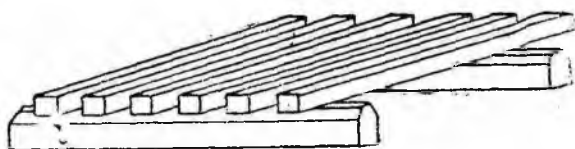
Из зольника воздух через прозоры колосниковой решётки

проходит сквозь слой топлива, соприкасаясь с ним; здесь и происходит горение, т. е. соединение горючих элементов топлива с кислородом воздуха. Таким образом, колосниковая решётка способствует лучшему перемешиванию воздуха с топливом, так как воздух подводится через решётку под весь слой топлива в виде отдельных струй, пронизывающих его. Только что рассмотренная топка называется простой топкой с горизонтальной колосниковой решёткой.

**Колосники.** Колосники могут быть в виде гладких брусков (фиг. 12) <sup>1</sup> и брусков с приливами на концах и середине



Фиг. 11. Колосниковая решётка



Фиг. 12. Колосниковая решётка из гладких брусков

(фиг. 13). При укладке таких колосников приливы упираются друг в друга, образуя прозоры (щели) определённой ширины. Ширина прозоров зависит от марки и качества угля. При мелких неспекающихся углях, чтобы топливо не проваливалось в зольник, колосники устанавливаются с прозорами в 8—10 мм. При крупном, а также спекающемся угле прозоры устанавливаются в 10—12 мм и больше.

Общая площадь прозоров или живого сечения колосниковой решётки составляет:

Для каменного угля . . . . .	от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{3}$	всей площади
Для бурого угля . . . . .	от $\frac{1}{6}$ до $\frac{1}{4}$	» »
Для антрацита . . . . .	от $\frac{1}{12}$ до $\frac{1}{8}$	» »

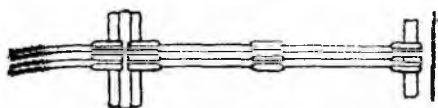
Боковые поверхности колосников следует делать широкими для лучшего охлаждения их проходящим воздухом. В поперечном сечении колосники делаются клинообразными (фиг. 11), что препятствует застреванию между колосниками золы и сгарков.

Горение тощих углей и антрацита даёт наиболее высокую температуру в слое горящего топлива, что разрушающе действует на колосниковую решётку, поэтому при сжигании этих углей применяются специальные колосники (фиг. 14): плитчатые *а* или с приливами *б*. Решётка из таких колосников имеет узкие, редкие, расширяющиеся книзу прозоры; размер прозоров — сверху 7—12 мм, внизу 20—25 мм. Такая решётка даёт сосредоточенное дутьё, при котором воздух вытекает с

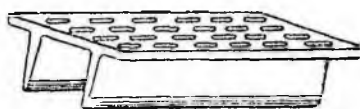
<sup>1</sup> Такие колосники не следует устанавливать, так как при работе они смогут сдвигаться, нарушая прозоры, а отсюда и правильность горения в топке.



Колосниковые балки



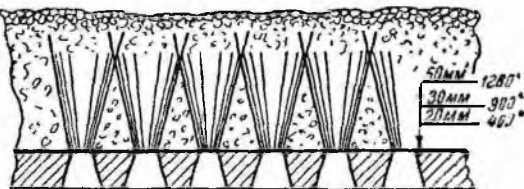
Фиг. 13. Колосниковая решетка из брусьев с приливами



б

Фиг. 14. Колосники для сжигания антрацита

большими скоростями в виде отдельных конических струек (фиг. 15). В плоскости пересечения этих струек и происходит наиболее сильное горение топлива, т. е. наибольшее выделение «жара». На фиг. 15 показано, как распределяются температуры по толщине слоя топлива (чем ближе к колосникам, тем температура ниже). Таким образом, изменяя расстояние между прозорами и величину самих прозоров у колосников, можно добиться удаления пояса горения от колосниковой решётки и этим сохранить её от «жара».



Фиг. 15. Схема сосредоточенного дутья

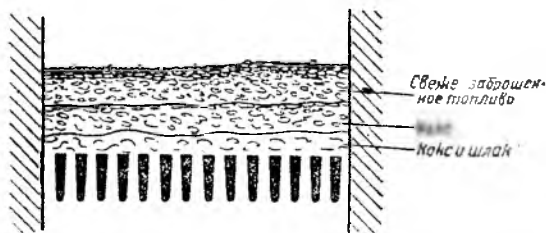
Запомним, что сжигание углей нужно вести на колосниках, соответствующих сорту угля. Кроме того, необходимо следить за правильной укладкой колосников, особенно тех, которые не имеют приливов (фиг. 12). Такие колосники могут сдвигаться вплотную друг к другу; следовательно, будет нарушаться равномерный подвод воздуха под слой топлива, лежащий на колосниковой решётке, и увеличится провал топлива в зольник.

**Горение в точке.** При сжигании угля мы прежде всего сталкиваемся с трудностью воспламенения его. Уголь, прежде чем воспламениться (загореться), должен быть разогрет так, чтобы из него начали выделяться летучие, которые благодаря лёгкой воспламеняемости способствуют горению. Вот почему уголь приходится разжигать дровами.

Указывалось, что легче загорается тот уголь, в котором больше летучих, и они выделяются раньше, например, в коксе мало летучих и он наиболее трудно воспламеняется; температура воспламенения кокса 700° (табл. 12).

Процесс горения воспламенившегося топлива на колосниковой решётке в дальнейшем зависит от притока кислорода (воздуха) к поверхности отдельных кусков топлива. Притоку воздуха к поверхности кусков топлива препятствуют газообразные оболочки,

образующиеся при горении вокруг кусков топлива. При достаточной скорости воздуха, вдуваемого в топку через колосниковую решётку, эти газообразные оболочки как бы сдуваются с кусков топлива; следовательно, воздух более полно соприкасается с поверхностью топлива. Вот почему в топках с дутьём горение протекает быстрее, чем в топках с естественной тягой.



Фиг. 16. Схема горения

Из схемы горения, представленной на фиг. 16, видно, что топливо в процессе горения на колосниковой решётке распадается на три слоя. В верхнем слое свежезаброшенное топливо подогревается, т. е. готовится для горения; здесь происходит испарение влаги и выделение летучих. В среднем слое происходит горение образовавшегося из топлива кокса. Нижний слой состоит из шлака и недогоревшего кокса.

Итак, уголь, попадая в топку, под действием «жара» начинает разлагаться на летучие и кокс, в соответствии с чем и горение его также распадается на две зоны: горение летучих и горение кокса.

Летучие, сгорая, образуют пламя, которое заполняет топку и рабочее пространство печи (ещё раз напомним: чем больше летучих в топливе, тем большее пламя образуется при горении). По характеру пламени различают прозрачное и светящееся пламя. Так, например, при сжигании углей, летучие которых содержат большое количество углеводородов (молодые угли), пламя получается светящим. Объясняется это тем, что углеводороды при нагревании разлагаются на водород и углерод; раскаленные частички углерода и производят свечение. В холодном пламени, особенно при недостаточном притоке воздуха (при растопке и после шуровки), частички углерода не успевают сгорать и образуют копоть.

Горение кокса, как было указано, происходит в слое топлива; здесь углерод кокса соединяется с кислородом воздуха, переходит в углекислый газ  $\text{CO}_2$  и в окись углерода, или угарный газ,  $\text{CO}$ . Эти продукты горения, поднимаясь в топочное пространство, смешиваются с общей массой летучих, причём здесь же происходит догорание частиц угарного газа, не сгоревших в слое топлива.

Водород  $\text{H}_2$ , образующийся при разложении углеводородов, летучих, сгорая в топочном пространстве, образует пары воды  $\text{H}_2\text{O}$ . Сера топлива, сгорая, переходит в сернистый газ  $\text{SO}_2$ .

Наконец, в топочное пространство поступает кислород и азот избыточного воздуха и уносятся с газообразными продуктами мелкие частицы топлива и золы.

В результате всех перечисленных реакций в топочном пространстве будут находиться следующие продукты горения: углекислота  $\text{CO}_2$ , пары воды  $\text{H}_2\text{O}$ , кислород  $\text{O}_2$ , окись углерода  $\text{CO}$ , несгоревшие водород  $\text{H}_2$ , сернистый газ  $\text{SO}_2$ , несгоревшие углеводороды, сажа, мелкие частицы твёрдого топлива (унос) и летучая зола.

Большое влияние на горение оказывает завихрение пламени. Завихрение способствует лучшему перемешиванию газообразных элементов топлива с воздухом, а следовательно, и наиболее полному их сгоранию. Вот почему на пути движения пламени устраивают преграды в виде порогов или сводиков.

**Шлаки.** Нижний слой топлива, лежащий на колосниковой решётке, состоит главным образом из шлака. Шлаки образуются из золы и являются большой помехой при сжигании топлива. Зола некоторых углей легкоплавка, например зола угля марки Г плавится при температуре, немного превышающей  $1000^\circ$ , угли марки ПС — при температуре около  $1200^\circ$ . Расплавляясь, зола даёт жидкий шлак, который заливает колосниковую решётку; следовательно, доступ воздуха в топку почти прекращается.

В отдельных случаях, при сжигании каменного угля, шлакование бывает настолько сильным, что срубать шлаки зубилами со стенок топки приходится 4—5 раз в месяц. Со шлакованием борются путём подводки пара в зольник или увлажнением воздуха, поступающего в топку через колосники. Это делает шлак хрупким и не даёт ему прилипнуть к стенкам топки; кроме того, увлажнённый воздух препятствует расплавлению золы.

При умелом сжигании угля шлаки могут быть полезными. Если накопить на колосниковой решётке слой шлака определённой толщины, то горение угля на такой шлаковой подушке будет более совершенным. Объясняется это следующим:

- 1) шлаковая подушка способствует более равномерному распределению воздуха для горения;
- 2) воздух, проходя через шлаковую подушку, подогревается, обеспечивая более лёгкое воспламенение свежих порций угля;
- 3) шлаковая подушка предохраняет колосники от разрушающего действия жара.

Переворачивать и вообще перемешивать топливо в процессе горения не следует, так как при этом разрушается шлаковая подушка и увеличиваются потери топлива в шлаке.

Шуровка топки должна состоять в разрыхлении и выравнивании верхних слоёв угля. В случаях же зашлакования колосниковой решётки необходимо осторожно прорезать колосники резакон, т. е. провести резакон вдоль прозоров решётки, чтобы дать вновь доступ воздуху.

**Подвод воздуха в топку.** Воздух подводится в топку двойко. В одном случае весь воздух, необходимый для сгорания как летучих, так и кокса, подводится через колосниковую решётку

(см. фиг. 10); в другом — только часть воздуха подводится рез решётку, другая же часть, необходимая для догорания летучих, подводится сверху, над слоем топлива (фиг 21). Выясним как это отражается на горении.

Когда весь воздух подаётся через колосниковую решётку, горение в слое топлива протекает с большим избытком воздуха, так как часть воздуха, предназначенная для сгорания летучих, не участвует в горении слоя. Избыток воздуха охлаждает слой топлива и тем самым понижает температуру горения в слое.

Когда через колосниковую решётку подаётся только часть воздуха, т. е. столько, сколько необходимо для горения в слое (для догорания летучих воздух подводится отдельно), то горение в слое протекает без избытка воздуха, т. е. с наиболее высокой температурой.

Как же правильно подводить воздух в топку? Это зависит от марки угля. При сжигании углей с большим содержанием летучих воздух подводят отдельно в каждую зону горения. Особенно необходимо давать воздух в зону горения летучих после шуровки, когда летучие бурно выделяются из топлива. При сжигании тощих углей и антрацита воздух подводится только под колосники.

**Подогрев воздуха.** Холодный воздух, поступающий в топку, принимает участие в горении только тогда, когда подогреется до температуры воспламенения топлива, на что требуется время. Понятно, что чем холоднее воздух, тем медленнее будет протекать горение. Поэтому вдуваемый воздух предварительно подогревают; тогда он меньше охлаждает топку, меньше требует времени для окончательного подогрега и горение протекает в этом случае быстрее, т. е. с более высокой температурой.

Предварительный подогрев воздуха, вдуваемого в топку через колосники, не должен превышать  $300^{\circ}$ ; более высокий подогрев вызывает быстрый прогар колосников и повышение шлакования топки. При сжигании антрацита подводить подогретый воздух нельзя. Воздух, подводимый в зону горения летучих, всегда следует подогревать, — в этом случае чем выше подогрев, тем лучше.

**Слой топлива.** Для правильного горения необходимо, чтобы топливо лежало на решётке ровным слоем. Если слой топлива в одном месте будет тоньше, а в другом толще, то тонкий слой сгорит скорее, и в этом месте образуется прогар, через который будет прорываться большое количество холодного воздуха. Из этого правильность горения нарушится, топка будет охлаждаться и печь будет плохо греть. Кроме того, лишний воздух в печи повысит угар металла.

Толщина слоя топлива также имеет большое значение: при тонком слое горение будет протекать с большим избытком воздуха; при толстом слое, наоборот, в газах будет содержаться значительное количество угарного газа  $\text{CO}$ , т. е. горение будет неполным. Слой топлива должен быть тем толще, чем крупнее куски топлива и чем труднее оно горит. Толщина слоя для углей колеблется от 80 до 200 мм в зависимости от сорта угля.



Неоднородность слоя<sup>1</sup> нарушает правильность горения, так как в местах скопления мелочи создаются подпоры (большое сопротивление для прохода воздуха), что препятствует равномерному распределению воздуха в слое топлива и приводит к прогарам.

Это обстоятельство указывает на необходимость сортировки топлива перед сжиганием.

Лучшие результаты при сжигании даёт уголь с величиной кусков 30—50 мм.

**Механические потери при горении.** Уголь (особенно мелкий), сгорая на колосниках, частично проваливается в зольник. Потери топлива через провал в зольник, включая и унос частичек топлива с дымом, называются механическими потерями при горении. Размер этих потерь в процентах от теплотворной способности топлива указан в табл. 14.

Механические потери зависят: 1) от зольности топлива (при многозольном топливе потери увеличиваются), 2) от правильного устройства колосниковой решётки и 3) от ухода за топкой. При внимательном уходе эти потери незначительны, при неблагоприятных условиях они могут возрасти в 5—6 раз против указанных в табл. 14.

Таблица 14

**Механические потери при горении**

Тип колосниковой решётки	Механические потери в %
Горизонтальная с большим живым сечением	2—4
То же с малым живым сечением . . . . .	1—3
То же (очень мелкое топливо) . . . . .	3—5
Со ступенчатыми колосниками . . . . .	1—3
Механическая с подвижными колосниками .	1—2

**Недостатки топки с горизонтальной решёткой.** Сжигание углей в топках с горизонтальной решёткой имеет ряд недостатков; основные из них:

1) трудность получения равномерного горения, особенно при сжигании углей, богатых летучими (марки Д, Г, ПЖ); после каждой шуровки наступает обильное выделение летучих, сопровождающееся дымлением; это приводит к падению температуры в печи и потере тепла с несгоревшими газами<sup>2</sup>;

2) трудность обслуживания топки и получения высокой температуры при сжигании углей с большим содержанием мелочи, золы и воды (бурый уголь).

Поэтому данные топки не могут быть рекомендованы для кузнечных печей. Только сжигание тощих углей и антрацитов в них можно считать экономным.

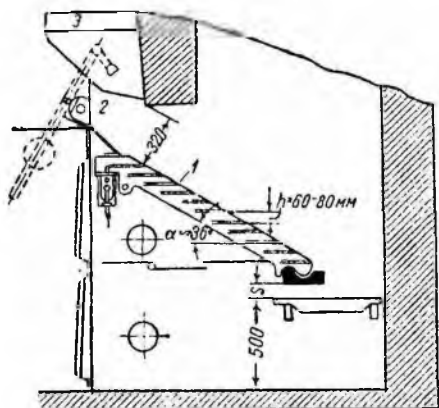
**Сжигание бурого угля.** Бурый уголь отличается значительным содержанием летучих, быстрым выделением их, высокой золь-

<sup>1</sup> Слой топлива называется неоднородным, если в нём наряду с крупными кусками содержится мелочь.

<sup>2</sup> Потери на неполноту горения.

постью и влажностью. Для получения равномерного горения и высокой температуры при сжигании этих углей необходимо постоянное испарение влаги и постепенное выделение летучих.

Топка, представленная на Фиг. 17, удовлетворяет этим условиям.



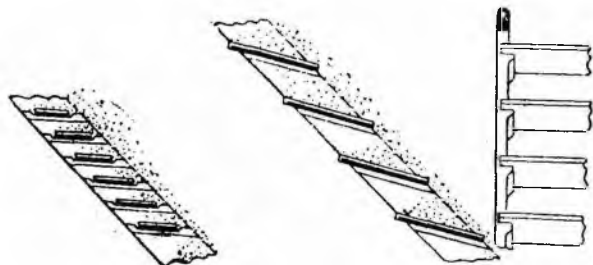
Фиг. 17. Топка для бурого угля

Здесь уголь забрасывается на наклонную колосниковую решётку 1, составленную из отдельных чугунных ступеней толщиной 20—30 мм и шириной 150—250 мм. Ступени закрепляются на специальных фасонных балках (фиг. 18) на расстоянии 60—80 мм друг от друга.

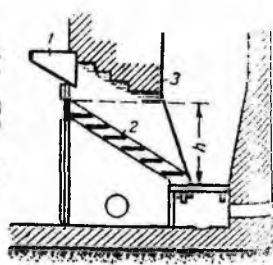
Наклонная колосниковая решётка устанавливается под углом 30—35°, т. е. меньше угла естественного откоса. Это исключает возможность

обвалов топлива с решётки и нарушение установившегося режима горения; следовательно, топливо может перемещаться по колосниковой решётке только принудительно, посредством проталкивания его сверху и через прозоры между ступенями. Устанавливать решётку под углом меньше 30° не следует — это затрудняет обслуживание, и чем меньше угол наклона решётки, тем труднее проталкивание топлива по ней.

Работа данной топки протекает в следующем порядке: уголь забрасывается через бункер 3 и постепенно проталкивается по



Фиг. 18. Ступенчатые колосники



Фиг. 19. Топка для сжигания смолистых углей

решётке вниз через отверстие 2, при этом влага испаряется, происходит постепенное непрерывное выделение летучих, обеспечивающее равномерное горение. Поступающий в топку воздух подогревается, но вследствие легкоплавкости золы бурого угля подогрев воздуха свыше 250° не рекомендуется. Толщина слоя топлива на решётке поддерживается в пределах 170—200 мм.

Такая топка называется простой топкой с наклонной колосниковой решёткой.

*Сжигание смолистых углей.* Отличительные свойства этих углей (Г, ПЖ, К, ПС) состоят в высоком содержании летучих и способности скоксовываться в слое (чем медленнее подогривается уголь, тем меньше он скоксовывается). Таким образом, для получения равномерного горения и меньшего скоксовывания необходимо обеспечить замедленный подогрев угля в процессе горения. Топка; представленная на фиг. 19, удовлетворяет этому условию. Здесь топливо через отверстие 1 поступает на наклонную ступенчатую решётку 2 и постепенно проталкивается вниз; при этом происходит постепенное непрерывное выделение летучих, обеспечивающее равномерное горение. Замедленному подогреву способствуют защитный сводик 3, предохраняющий топливо от сильного жара, и вдувание холодного воздуха в верхнюю часть колосниковой решётки.

Наклон колосниковой решётки, как показала практика, также должен быть в пределах  $30-35^{\circ}$ .

*Сжигание тощих углей и антрацита.* Выше указывалось на возможность сжигания тощих углей и антрацита в топке с горизонтальной колосниковой решёткой. Вследствие небольшого содержания летучих горение этого топлива протекает главным образом в слое; здесь и наблюдается наиболее высокая температура. Для защиты колосниковой решётки от жара подводят сосредоточенное холодное дутьё (фиг. 15) через колосники, изображённые на фиг. 14. Живое сечение решётки выбирают в пределах  $8-12\%$ . Сжигание ведут на шлаковой подушке толщиной  $20-30$  мм; последняя способствует равномерному распределению дутья в слое топлива и подогривает воздух, обеспечивая быстрое загорание свежих порций топлива. Трудность воспламенения тощих углей и антрацита заставляет сжигать их толстым слоем от  $150$  до  $200$  мм (чем мельче уголь, тем тоньше должен быть слой топлива). Для предупреждения образования жидкого шлака под колосники подводят пар или увлажняют воздух дутья. Необходимо следить за сохранением шлаковой подушки.

*Полугазовая топка.* Рассматривая работу простой топки, мы видим, что здесь процесс горения топлива заканчивается полностью в пределах пространства топки, вследствие чего наибольшее выделение тепла получается в топке. Скопление тепла в одной части печи, т. е. в топке, неблагоприятно отражается на другой её части — рабочем пространстве; при таких условиях в рабочем пространстве печи трудно достигнуть высокой и равномерно распределённой температуры. Иначе обстоит дело в газовых печах; здесь, в силу его особых свойств, газ сжигается непосредственно в рабочем пространстве печи и потому легко создаются требуемые температурные условия для нагрева металла.

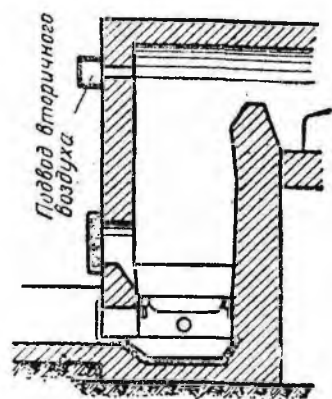
Изменяя конструкцию топки и процесс горения, можно выделить горючий газ из твёрдого топлива. Это даёт возможность

<sup>1</sup> О сжигании антрацита см. статьи П. А. Пузакова, «Вестник металлпромышленности», № 5, 1938, и статью В. В. Пиловой, «Вестник металлпромышленности», № 10, 1938.

перенести зону горения частично в рабочее пространство печи и получить более благоприятные условия для нагрева металла.

Такая топка, называемая полугазовой, представлена на фиг. 20; в ней топливо сжигается более толстым слоем и при меньшем доступе воздуха, т. е. создаются условия неполного горения. В результате этого в топке выделяется горючий газ, содержащий летучих и окиси углерода, называемый полугазом, состав его следующий: окиси углерода  $\text{CO}$  12—18%, водорода  $\text{H}_2$  8—10%, уголекислоты  $\text{CO}_2$  10—14% и летучие (углеводороды).

Получаемый в топке полугаз дожигается в рабочем пространстве печи, для чего подводят вторичный воздух, предварительно подогрев его. В результате такого горения в рабочем простран-



Фиг. 20. Полугазовая топка для антрацита

стве создаются нужные температурные условия, обеспечивающие равномерный нагрев металла и высокую производительность печи. Температура же в топке устанавливается значительно ниже, чем в рабочем пространстве, что удлиняет срок службы топки.

Качество полугаза зависит от толщины слоя топлива в топке; при более толстом слое полугаз получается более богатым, т. е. с большим содержанием горючих элементов. Толщина слоя топлива в полугазовых топках колеблется в пределах 250—500 мм.

Увлажнение воздуха, поступающего в топку через колосники или паровое дутьё, способствует обогащению газа водородом, так как при прохождении паров воды через раскисленный слой топлива происходит реакция



Кроме того, пары воды понижают температуру в топке и способствуют разрыхлению шлака, что облегчает обслуживание топки.

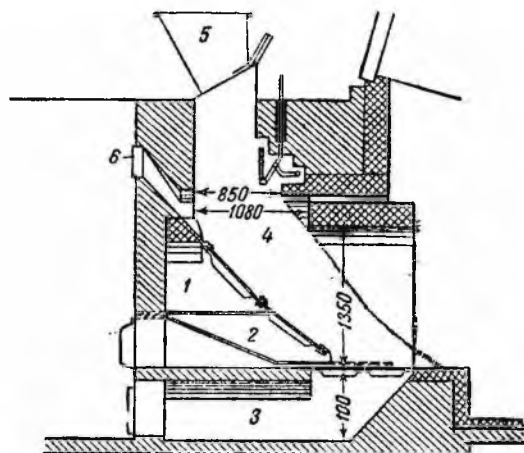
Преимуществом полугазовой топки является также возможность сжигания в ней, с хорошим результатом, топлива невысокого качества, чего нельзя добиться в простой топке.

Итак, полугазовая топка отличается от простой тем, что в ней топливо сжигается толстым слоем с обязательной двойной подачей воздуха для горения: первичного — под колосники и вторичного — в рабочее пространство печи. Под колосники подводится 60—75% всего воздуха, подаваемого для горения, остальные 25—40% подводятся в рабочее пространство печи.

**Сжигание торфа.** Непосредственное сжигание торфа в нагревательных печах производится сравнительно редко. Торф можно сжигать в простой топке с горизонтальной колосниковой решёт-

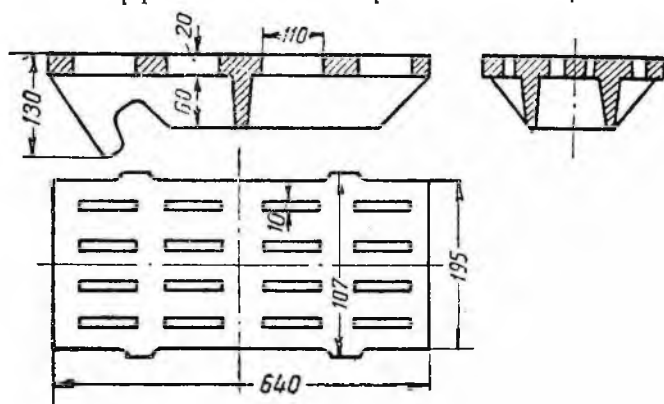
кой. при этом расстояние от колосниковой решётки до нижней кромки окна топки должно быть не менее 500 мм. Прозоры между колосниками должны быть не более 10—15 мм для кускового торфа и 5—10 мм для мелочи.

Лучший результат даёт сжигание кускового торфа в шахтной топке (фиг. 21). Здесь наклонные колосники 4 представляют со-



Фиг. 21. Шахтная топка для кускового торфа

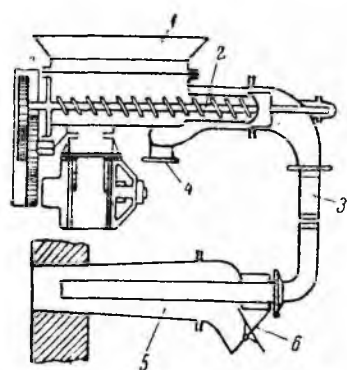
бой чугунные плиты (фиг. 22) со щелями в 10—15 мм, устанавливаемые под углом  $45^\circ$ . Загрузка торфа производится через бункер 5. По мере сгорания нижнего слоя торфа верхние слои постепенно сползают вниз (к зоне горения), при этом происходит подсушивание торфа. Зольник топки разделён на три самостоятель-



Фиг. 22. Плиточные наклонные колосники

ные части 1, 2 и 3. Это позволяет регулировать поступление воздуха в каждую зону в зависимости от степени влажности торфа. Для удобства чистки топки предусмотрена специальная дверка 6.

**Сжигание угольной пыли.** При добыче каменного угля подучается в большом количестве каменноугольная пыль (штыб), которую в последнее время сжигают как пылевидное топливо. При этом способе угольная пыль распыливается давлением воздуха через специальную горелку, смешивается с воздухом и затем сгорает в печи. Такое сжигание каменного угля имеет большое преимущество, так как пылевидное топливо приобретает одно из качеств жидкого топлива, т. е. становится удобосжигаемым. В настоящее время в специальных устройствах кусковой уголь подвергается размолу — превращению в пыль. При этом можно использовать низкосортные мелкие угли (с высокой зольностью), сжигание которых обычным способом на колосниках затруднительно. Схема одного из устройств для сжигания пыли представлена на фиг. 23.



Фиг. 23. Горелка для пылевидного топлива

Угольная пыль поступает в закрывающий шнек 1, откуда посредством шнека 2 подаётся в трубу 3; здесь пыль захватывается воздухом, поступающим через отверстие 4, и через горелку 5 поступает в топку. Дополнительный воздух, необходимый для полного сжигания пыли, поступает через отверстие 6.

**Размеры топки.** Площадь колосниковой решётки топки  $B$  определяется всегда в квадратных метрах, как произведение ширины топки  $a$  на её длину  $b$  (фиг. 10). Площадь ступенчатой колосниковой решётки складывается из двух частей: наклонной части, которая определяется как произведение

высоты её  $h$  на ширину (фиг. 19), и площади горизонтальной части.

Очевидно, что количество топлива, сжигаемого в топке, должно находиться в определённой зависимости от её размеров; основным показателем, определяющим эту зависимость, является напряжение колосниковой решётки.

Напряжением колосниковой решётки  $K$  называется количество килограммов твёрдого топлива, сжигаемого в час на  $1 \text{ м}^2$  площади решётки.

Напряжённость колосниковой решётки для различных видов топлива указана в табл. 15.

Таблица 15  
Напряжённость колосниковой решётки в  $\text{кг}/\text{м}^2/\text{час}$

Топливо	Подача воздуха	
	естественная	вентилятором
Уголь . . . . .	100—150	200—300
Торф . . . . .	180—200	300—400
Дрова . . . . .	200—250	350—500

† Бесконечного вида.

Следовательно, зная часовой расход топлива  $D$  в килограммах, можно определить площадь колосниковой решётки

$$B = \frac{D}{\lambda}.$$

Для удобства обслуживания топки длина колосниковой решётки должна быть не более 2 м, ширина обычно определяется шириной печи, при этом на каждый метр ширины топки должно быть рабочее окно для заброски топлива.

Другим показателем является напряжение топочного пространства.

Напряжением топочного пространства называется количество тепла горения в калориях, приходящееся на 1 м<sup>3</sup> топочного пространства в час.

Допускаемое напряжение топочного объёма составляет для каменного угля от 300 до 700 тыс. кал на 1 м<sup>3</sup> топки. Чем больше содержание летучих в угле, тем меньше допускаемое напряжение топочного объёма.

**Пример.** Определить размеры колосниковой решётки топки по следующим данным: топливо — уголь, расход топлива 150 кг/час; подача воздуха вентилятором. Напряжение колосниковой решётки берём равным 200 кг/м<sup>2</sup>/час (табл. 15).

Подсчитаем, чему равна площадь колосниковой решётки:

$$B = \frac{D}{\lambda} = \frac{150}{200} = 0,75 \text{ м}^2.$$

Приняв длину топки 1 м, получим ширину, равную

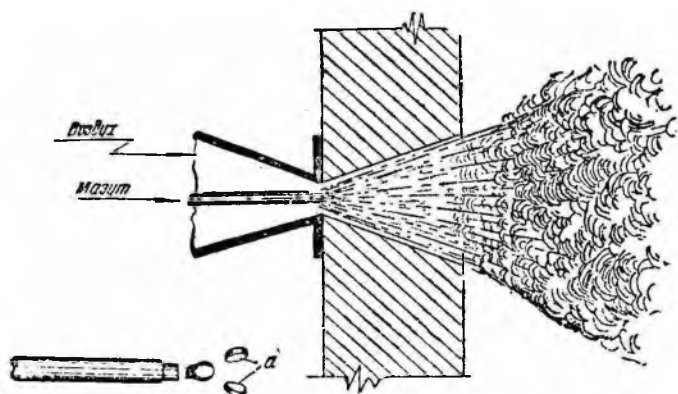
$$\frac{0,75}{1} = 0,75 \text{ м}.$$

Живое сечение решётки принимаем согласно данным, указанным на стр. 44.

### 3. Сжигание жидкого топлива

**Распыливание топлива.** Из жидкого топлива в кузнечных печах преимущественно сжигается мазут. Это топливо получило широкое применение в печах вследствие высокой теплотворной способности и удобства сжигания. В чём же заключается это удобство? Вспомним, что одним из основных условий хорошего полного сжигания топлива является наилучшее его перемешивание с воздухом, т. е. чем больше поверхность топлива соприкасается с воздухом, тем совершеннее протекает горение. Очевидно, что жидкое топливо можно перемешивать с воздухом лучше, чем твёрдое. Для этого мазут распыливают, т. е. разбрызгивают мелкими каплями, которые в топке под действием «жара» испаряются и, следовательно, хорошо перемешиваются с воздухом. Полученная таким способом горючая смесь в раскалённом пространстве печи легко воспламеняется, образуя нужное для нагрева металла пламя.

Итак, распыливанием достигается увеличение поверхности соприкосновения мазута с воздухом. Действительно, при раздроблении капли мазута (фиг. 24) только на две половинки происходит уже увеличение поверхности на две плоскости раздела  $a$ . Следовательно, чем мельче раздробление, тем больше увеличение поверхности соприкосновения мазута с воздухом. Например, если распылить 1 кг мазута, имеющий в обычных условиях поверхность  $0,065 \text{ м}^2$ , на капельки диаметром  $0,04 \text{ мм}$ , то поверхность 1 кг мазута в этих условиях будет около  $175 \text{ м}^2$ . Таким образом, благодаря распылению произошло увеличение поверхности соприкосновения мазута с воздухом более чем в 2500 раз.



Фиг. 24. Схема распыливания и горения мазута

Понятно, что при таких условиях мазут будет хорошо и быстро сгорать, давая при этом высокую температуру.

Выясним сущность явления распыливания (пульверизации) жидкости.

Сущность пульверизации заключается в следующем.

Если над поверхностью жидкости движется воздушный поток, то вследствие трения между поверхностью жидкости и воздухом начинается отрыв отдельных частиц жидкости от основной её массы. Понятно, что это может произойти только при определённой скорости движения воздушного потока, и чем выше скорость, тем энергичнее будет протекать отрыв частичек жидкости с поверхности. На этом явлении основано действие современных приборов (форсунок), применяемых для распыливания мазута в промышленных установках.

На фиг. 25 показана схема одной из распространённых форсунок<sup>1</sup>; она состоит из полукруглого корпуса 1, к одному концу которого присоединён воздухопровод 2. Другой конец заканчивается конусообразной насадкой 3, называемой соплом.

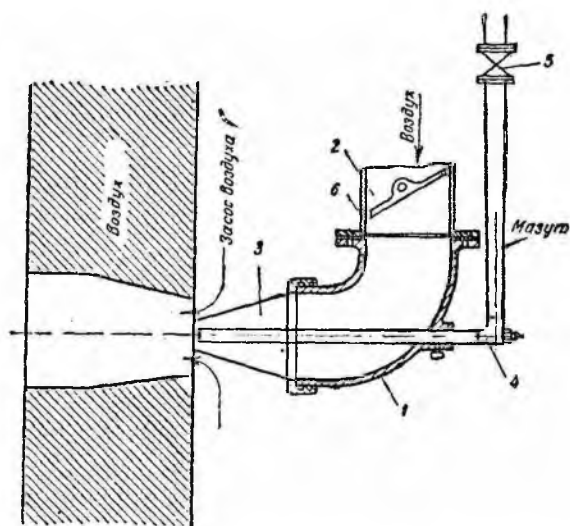
Внутри форсунки имеется трубка 4, по которой подводится мазут. При выходе из трубки мазут подхватывается струёй вду-

<sup>1</sup> Форсунка проф. Грум Гржимайло.



емого воздуха и распыливается. Сопло делается коническим, для того чтобы сжать струю воздуха при выходе из сопла и тем самым достигнуть наибольшей скорости истечения, а следовательно, и лучшего распыливания. Приток мазута в этой форсунке регулируется вентилем 5, приток воздуха — задвижкой 6.

**Горение мазута.** Следует помнить, что от форсунки зависит только качество распыливания мазута, дальнейшее же горение и использование полученного при этом тепла зависят от устройства печи, её состояния и от умения обслуживать печь. Можно при наилучшей форсунке, но в плохой печи, или при небрежном



Фиг. 25. Форсунка низкого давления

и неумелом обслуживании получить плохое горение. Проследим как протекает процесс горения распылённого мазута. Форсунка выбрасывает распылённый мазут в форме конусообразного потока (фиг. 24). Этот поток, состоящий из смеси мельчайших капелек мазута с воздухом, попадая в раскалённое пространство печи, быстро нагревается и воспламеняется. При этом большая часть капелек мазута успевает испариться и сгорает.

Скорость воспламенения, а следовательно, и устойчивость горения факела зависят не только от качества распыливания, но и от степени раскалённости печного пространства. При холодных стенках печи воспламенение горючей смеси будет происходить плохо; следовательно, горение будет неустойчиво и горящий факел может оторваться от форсунки и затухнуть.

Вот почему при розжиге печи приходится принимать меры, обеспечивающие воспламенение горючей смеси посредством растопки из щепы, пакли и пр.

На устойчивость горения влияет и форма форсуночного отвер-

ствия в стенке печи. Это отверстие следует делать расширяющимся внутрь печи (фиг. 24), так как при цилиндрическом отверстии трудно добиться устойчивого горения, особенно при розжиге печи.

Поясним это. Горючая смесь выбрасывается форсункой с определённой скоростью, при этом движущиеся сзади горючие частички воспламеняются от движущихся впереди горящих частичек. Таким образом, в горящем факеле форсунки имеют место два движения: от сопла форсунки движется горючая смесь, а навстречу ей «бежит» с определённой скоростью (скоростью воспламенения) пламя. Понятно, что чем больше скорость истечения горючей смеси и чем меньше скорость воспламенения, тем дальше от сопла форсунки происходит горение. Вот почему при розжиге печи, когда скорость воспламенения горючей смеси невелика, возможен отрыв пламени от форсунки и его затухание. Следовательно, для устойчивого горения необходимо уменьшить скорость горючей смеси после выхода её из сопла форсунки. Это достигается расширением форсуночного отверстия в стенке печи.

В печах сжигание мазута ведётся или непосредственно в рабочем пространстве печи (фиг. 53) или в особой топочной камере — форкамере (фиг. 56). Чем лучше работает форсунка, тем меньше необходимость в устройстве форкамеры. Но всё же во многих случаях устройство форкамер у печей целесообразно, особенно тогда, когда по ряду обстоятельств, например отсутствие вентилятора, дающего дутьё для форсунок требуемого давления, и др., не удаётся добиться хорошего распыливания мазута. В этом случае в небольшом специальном топочном пространстве легче добиться удовлетворительного горения.

Необходимо помнить, что для хорошего сжигания мазута большое значение имеет:

1. Исправная и чистая топка, т. е. своевременно очищенная от нагара и шлака.

2. Правильная установка форсунки (фиг. 25): а) форсунка должна устанавливаться по центру отверстия в стенке печи и конец сопла 3 должен находиться на одной линии с наружной стенкой печи; б) нефтяная трубка внутри форсунки должна устанавливаться от наружной кромки сопла на расстоянии, равном примерно диаметру сопла; в) сопло форсунки и отверстие для него в стенке печи должны быть исправными и чистыми.

3. Специальная конструкция и исправность вентиля 5 на нефтепроводе<sup>1</sup> и задвижки 6 на воздухопроводе.

4. Достаточный подогрев воздуха и мазута, поступающего в форсунку, и отделение от мазута воды и грязи.

Для экономного сжигания мазута нужно, чтобы воздух, поступающий в форсунку низкого давления, подогревался до температуры не выше 300°. Более высокий подогрев способствует коксованию мазута в форсунке, что будет мешать горению.

<sup>1</sup> О конструкции вентиля будет сказано дальше.

Мазут тоже следует подогревать до температуры  $50-60^{\circ}$ , от этого он становится жиже и лучше распыливается форсункой. Кроме того, на степень распыливания мазута влияет давление подачи мазута в форсунку, что должно быть предусмотрено в устройстве нефтеснабжения кузнечного цеха.

**Измерение давления дутья.** Из вышеизложенного видно, что упругость или давление поступающего в форсунку воздуха имеет большое влияние на работу форсунки. Давление воздуха измеряется в миллиметрах водяного столба или в атмосферах.

В технике за единицу измерения давления принята атмосфера, т. е. давление  $1 \text{ кг}$  на площадь в  $1 \text{ см}^2$ . Воздух, окружающий землю (атмосфера), незаметно для нас давит с такой же силой на каждый квадратный сантиметр её поверхности.

Если возьмём столб воды высотой  $10\,000 \text{ мм}$  ( $10 \text{ м}$ ), то убедимся, что давление его на  $1 \text{ см}^2$  площади также равно давлению  $1 \text{ кг}$ , т. е. атмосфере. Таким образом, если говорят, что форсунка работает с давлением воздуха  $500 \text{ мм вод. ст.}$ , то это давление соответствует  $500/10\,000 = 1/20 \text{ ат.}$  Ниже  $250 \text{ мм вод. ст.}$  дутьё иметь не рекомендуется, так как получается плохое распыливание мазута.

Небольшие давления в воздухопроводе обычно измеряются при помощи U-образной изогнутой стеклянной трубки (фиг. 26), которая закрепляется на доске с нанесённой шкалой. В трубку наливают подкрашенную воду в таком количестве, чтобы уровень её совпадал с нулевым делением шкалы. Колено трубки с отогнутым концом соединяют с воздухопроводом, в котором хотят замерять давление. Если в другом открытом конце трубки уровень воды будет повышаться, — это указывает, что в воздухопроводе есть положительное давление (больше атмосферного). Величина его измеряется в миллиметрах водяного столба (по шкале) как разность уровней воды в коленах трубки. Этой же трубкой можно измерять и разрежение, т. е. отрицательное давление (меньше атмосферного) в дымоходе, трубе и пр. В этом случае уровень воды будет выше в колене трубки, соединённой с дымоходом.

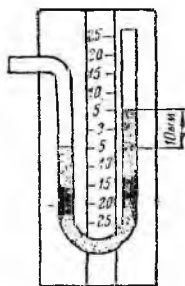
**Форсунки для мазута.** Форсунки, применяемые для сжигания мазута, в основном разделяются на две группы:

1. Форсунки низкого давления, работающие под давлением воздуха от  $300$  до  $1000 \text{ мм вод. ст.}$  ( $1/20 - 1/10 \text{ ат.}$ )

2. Форсунки высокого давления воздушные и паровые, работающие при давлении пара или воздуха от  $0,5$  до  $15 \text{ ат.}$

**Форсунки низкого давления.** Форсунки низкого давления работают при сравнительно малых скоростях распыливающего воздуха, но с большой массой последнего.

Здесь скорость движения воздуха из сопла форсунки колеблется от  $50$  до  $75 \text{ м/сек.}$  Масса же воздуха, вдвухаемая форсун-



Фиг. 26. U-образная изогнутая трубка

кой, соответствует или полному количеству воздуха, необходимому для горения, или только части его. В последнем случае недостающее количество воздуха (примерно до 60%) инжектируется (засасывается) через форсуночное отверстие в стенке печи (фиг. 25).

Ясно, что лучшие результаты достигаются тогда, когда весь воздух, необходимый для горения, подаётся непосредственно через форсунку, так как большая масса воздуха будет способствовать лучшему распыливанию мазута. Кроме того, создаётся и удобство регулирования горения; в этом случае форсунка устанавливается «на глухую», т. е. без щели между кромкой форсуночного окна и соплом форсунки.

Существующие типы форсунок низкого давления работают при давлениях воздуха от 300 до 1000 мм вод. ст., однако данные практики и исследования показывают, что при подаче всего воздуха через форсунку наимыгоднейшим давлением следует считать давление 500 мм вод. ст. Повышение давления воздуха свыше 500 мм вод. ст. не улучшает распыливания и приводит лишь к непроизводительной затрате на излишнюю мощность вентилятора. Понижение же давления воздуха (ниже 500 мм вод. ст.) уменьшает возможность регулировки форсунки, следовательно ухудшает качество её работы.

Форсунки низкого давления получили широкое применение в кузнечных печах; они дают относительно короткое пламя, являющееся лучшим для нагревательных печей, удобны для обслуживания и пр. Рассмотрим несколько конструкций этих форсунок.

Форсунка, изображённая на фиг. 25, рассчитана на давление воздуха в 300—350 мм вод. ст., как уже указывалось, по внутренней трубке 4 подаётся мазут, по наружной 2 — воздух. При выходе из сопла 3 струя воздуха подхватывает мазут и распыливает его. Приток мазута регулируется вентилем 5, приток воздуха — специальной задвижкой 6.

Форсунка Роквелла (фиг. 27). Устройство и действие её такие же, как и форсунки, представленной на фиг. 25. Форсунка устанавливается «на глухую», т. е. с подачей через неё всего воздуха, требуемого для горения. Форсунка Роквелла проста по конструкции, долговечна, не требует большого ухода; это послужило причиной довольно широкого её распространения.

Установка форсунки Роквелла нецелесообразна на небольших коротких печах, так как она даёт сосредоточенный узкий факел пламени, который, ударяясь о противоположную стенку печи, способствует её разрушению.

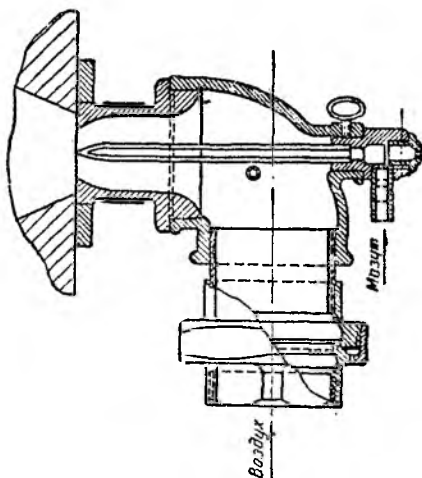
Форсунка ЦНИИМАШ (фиг. 28). У этой форсунки внутри воздушного сопла 1 помещена цилиндрическая вставка 2, омываемая с наружной стороны воздухом. Эта особенность в конструкции устраняет подтекание форсунки, так как капли мазута, попадая на внутренние стенки вставки 2, подхватываются и распыляются воздухом, выходящим через кольцевую щель между соплом 1 и вставкой 2. Кроме того, благодаря завихрению воздуха в корпусе форсунки достигается лучшее распыливание.

Форсунка Шмидта (фиг. 29). В этой форсунке воздух разделяется на два потока — один поток поступает через отверстие 1 в сопло 2 форсунки, завихряется, другой поток выбрасывается через кольцевую щель 3, между корпусом форсунки и соплом.

Двойное распыливание и завихрение воздуха внутри форсунки значительно улучшают качество распыливания; регулирование воздуха производится заслонкой 4. На практике эти форсунки показывают хорошую работу.

Недостаток рассмотренных форсунок — трудность регулировки, т. е. сохранения постоянной скорости распыливания при изменении расхода мазута.

Действительно, с уменьшением расхода мазута необходимо уменьшить и количество воздуха; это производится прикрытием воздушной задвижки. Тогда количество воздуха, поступающего в форсунку, уменьшится, отверстие же в сопле форсунки для выхода воздуха останется прежним; следовательно, скорость истечения воздуха из форсунки уменьшится, а это ухудшит распыливание мазута. Кроме того,

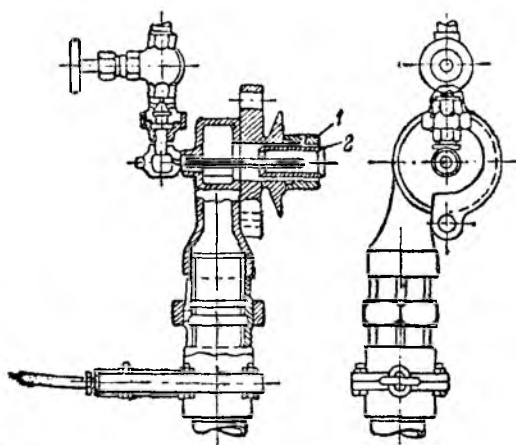


Фиг. 27. Форсунка Роквелла

в воздушной задвижке форсунки происходят большие потери напора воздуха (давления), которые нередко поглощают половину и даже больше от величины напора в воздухопроводе перед задвижкой.

В приводимых ниже конструкциях форсунок данные недостатки устранены.

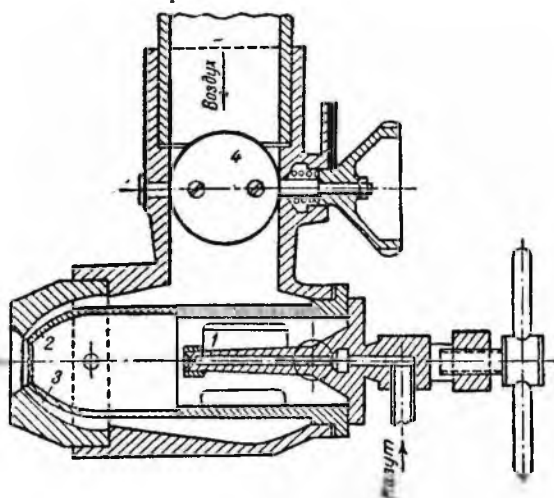
Так, в форсунке Эссиха (фиг. 30) мазут подаётся во внутреннюю трубку 1 и отсюда через отверстие 2 поступает в воздушную камеру 3. Воздух, поступая по трубе 4, разделяется на



Фиг. 28. Форсунка ЦНИИМАЗ, производит 8 кг мазута

два потока: один поток поступает в камеру 3, подхватывает мазут и, распыливая его, выбрасывает в печь; другой поток через кольцевую щель 5 поступает непосредственно к факелу, способствуя лучшему распыливанию. Щели для выхода мазута и воздуха ре-

гулируются посредством маховичков 6—7, чем достигается постоянство скоростей истечения воздуха. Двойное распыливание

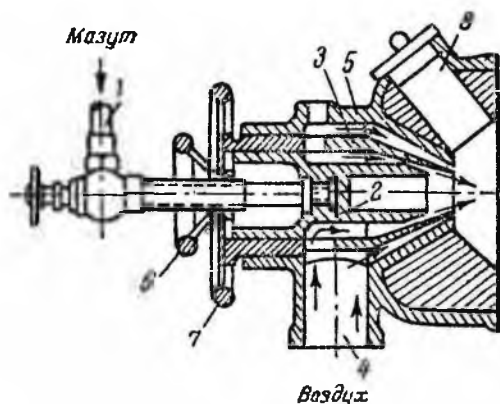


Фиг. 29. Форсунка Шмидта

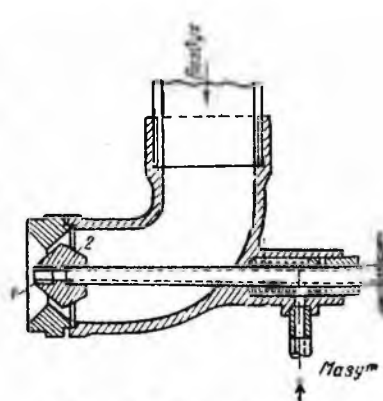
способствует лучшему перемешиванию горючего с воздухом. Чистка форсунки производится через отверстие 8. Недостаток этой форсунки — её сложность и быстрая засоряемость.

Форсунка Ромо (фиг. 31). У этой форсунки регулирование воздуха производится также изменением сечения воздушного сопла, т. е. при регулировке скорость истечения воздуха из сопла

форсунки остаётся постоянной. Это достигается посредством перемещения нефтяного сопла 1 с посаженным на конце конусообразным наконечником 2. Перемещая наконечник, можно совсем



Фиг. 30. Форсунка Эсснера

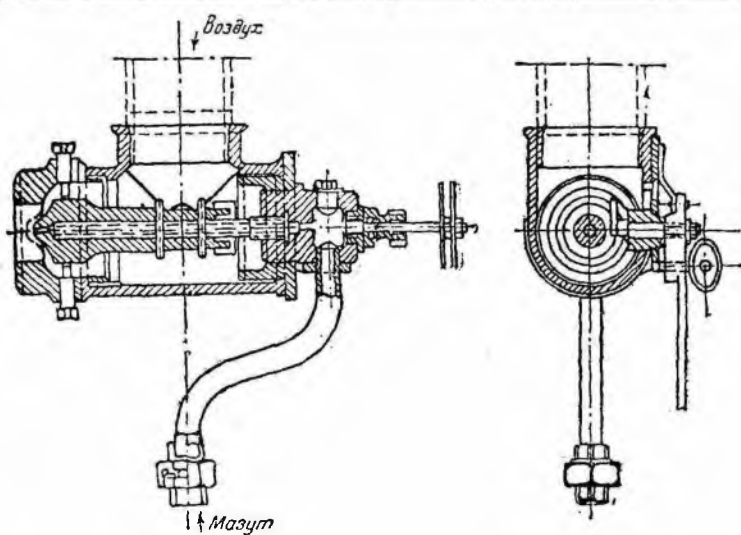


Фиг. 31. Форсунка Ромо

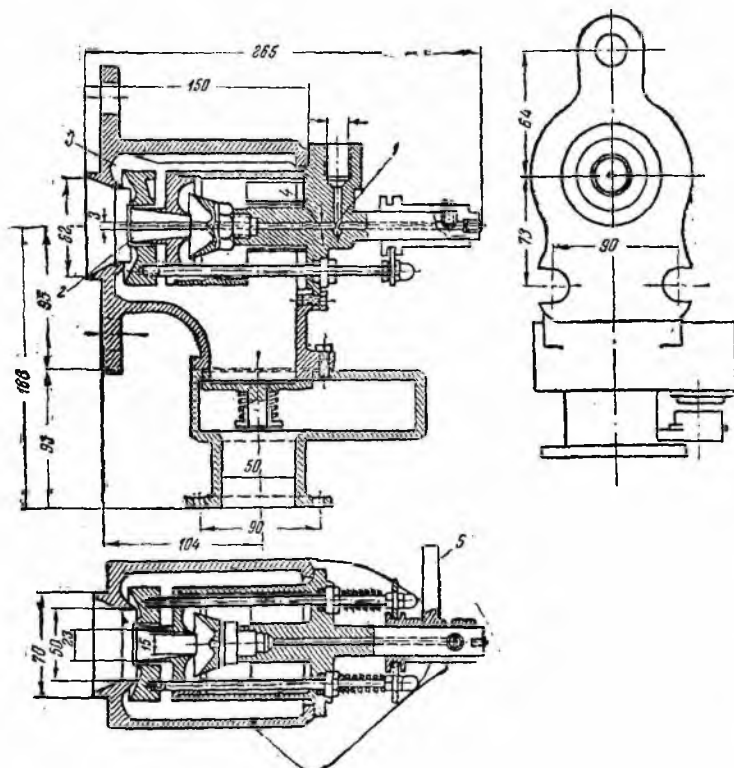
закрыть воздушное сопло форсунки или, наоборот, открыть его полностью.

Форсунка Ромо проста в изготовлении, но имеет недостаток: при регулировке нефтяное сопло 1 форсунки изменяет своё положение относительно конца воздушного сопла, что ухудшает распыливание.

Форсунка Стальпроекта (фиг. 32) имеет устройство, аналогичное с форсункой Ромо, и тот же недостаток.



Фиг. 32. Форсунка Стальпроекта



Фиг. 33. Форсунка Джонстона

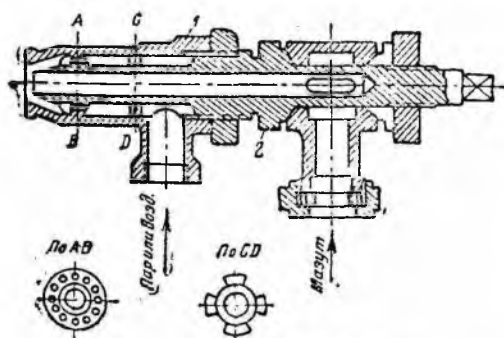
В форсунке Джонстона (фиг. 33) этот недостаток устранён. В этой форсунке мазут, подаваемый по внутреннему каналу 1, поступает в среднюю часть форсунки, где распыливается встречным потоком воздуха. Образовавшаяся смесь выбрасывается через конический наконечник 2 в печь; на пути она распыливается вторичным потоком воздуха, поступающего через щель 3. Регулирование воздуха производится изменением сечения этой щели посредством тяги 4 и рукоятки 5. Форсунка Джонстона получила широкое распространение благодаря возможности регулировать горение в широких пределах. Другим достоинством этой форсунки является то, что все форсунки любой производительности имеют одну установочную плиту, и таким образом облегчается замена форсунки.

Всё это даёт основание рекомендовать форсунку Джонстона как наиболее целесообразную. В табл. 16 даётся характеристика этих форсунок.

Таблица 16  
Характеристика форсунок Джонстона (ФДБ)<sup>1</sup>

Условное обозначение	Размеры установочной плиты	Диаметр воздухопроводов	Минимальный расход мазута в кг/час при давлении вод. ст.	Максимальный расход воздуха и мазута при давлении							
				430 мм в. с.		520 мм в. с.		600 мм в. с.		700 мм в. с.	
				воздуха в м³/мин	мазута в кг/час	воздуха в м³/мин	мазута в кг/час	воздуха в м³/мин	мазута в кг/час	воздуха в м³/мин	мазута в кг/час
ФДБ-1	16" × 14"	2"	5,1	3,08	20,0	3,35	22,0	3,65	24,0	3,9	26,0
ФДБ-2	18" × 16"	3"	8,5	4,65	30,00	5,10	34,0	5,50	36,8	5,9	38,8
ФДБ-3	18" × 16"	4"	13,6	7,20	47,0	7,85	52,0	8,50	51,0	9,1	60,0
ФДБ-4	18" × 16"	5"	20,2	11,00	76,0	12,50	82,0	13,50	89,0	14,6	95,0

Форсунка высокого давления. Наиболее простой и распространённой форсункой высокого давления является форсунка Шухова (фиг. 34). Она состоит из двух трубок 1—2, суженных к месту горения.



Фиг. 34. Форсунка Шухова

По наружной трубке 1 идёт воздух, по внутренней 2 — мазут.

В узком конце форсунки (сопло) воздух движется сочень большой скоростью, при этом он с силой подхватывает капельки мазута, поступающие по внутренней трубке, и, разбивая их, даёт нефтяной туман, в котором отдельных капелек мазута уже не видно.

<sup>1</sup> Форсунки изготовляются Союзтеплостроем. Давление подачи мазута 2—2,5 ат.



В табл. 17 приводится характеристика форсунок Шухова.

Таблица 17

Характеристика форсунок Шухова

№ форсунки	Диаметр отверстия для мазута в мм	Расход мазута в кг/час при давлении в ат	
		1	2,5
1	2	7	10
2	3	20	30
3	4	40	60
4	5	60	90
5	6	80	120
6	7	105	155
7	8	130	180
8	10	180	240
9	13	250	320
10	16	350	—

Давая хорошее распыливание, форсунки высокого давления мало экономичны, так как сжатый воздух, получаемый от компрессора, дорог. Через такую форсунку воздух поступает только для распыливания, в количестве 8—10% от общего его количества, необходимого для сжигания мазута; остальное же количество воздуха инжектируется (засасывается) через форсуночное отверстие или через специальные каналы в топке печи<sup>1</sup>.

На фиг. 35 показана форсунка высокого давления для малых и средних печей, она состоит из корпуса 1, воздушного сопла 2, в котором расположено нефтяное сопло 3. Подачу мазута в нефтяное сопло регулируют иглой вентиля 4. Эта форсунка, показала хорошие результаты в работе при давлении дутья воздуха 0,5 ат. Такое давление можно получить от ротационного вентилятора, что даёт возможность устанавливать такие форсунки независимо от наличия компрессорных установок.

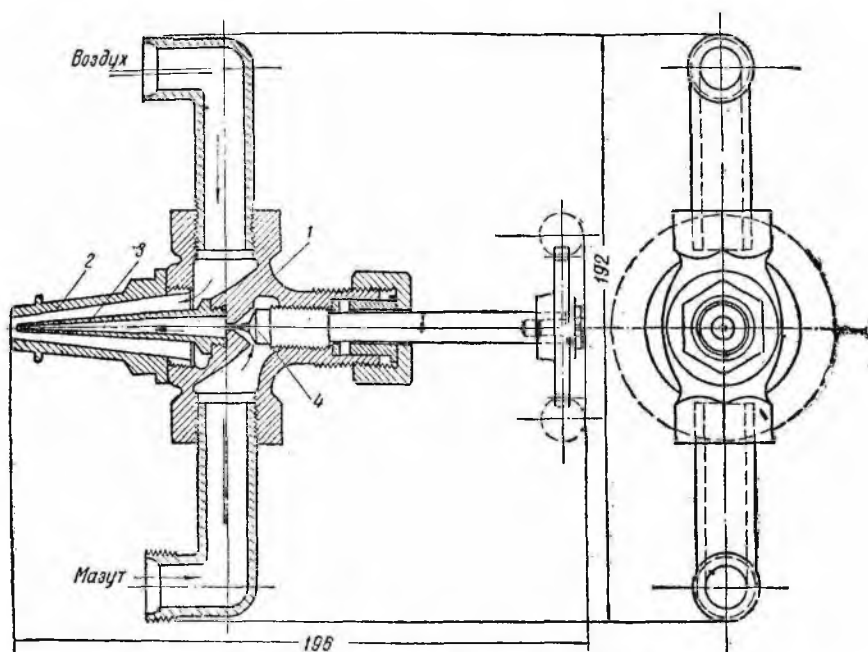
Для распыливания в форсунках высокого давления применяют и пар, когда нет сжатого воздуха. Однако распыливание паром не рекомендуется, так как он не идёт на горение и лишь поглощает тепло.

Давление как воздуха, так и пара должно быть постоянным; даже незначительное изменение давления отражается на характере пламени.

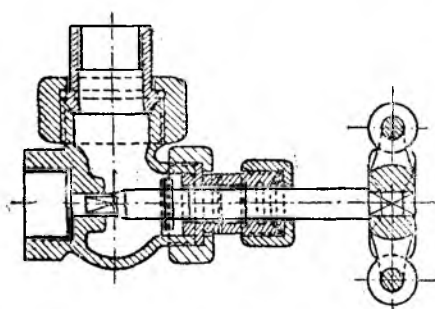
Достигнуть постоянного давления можно установкой на воздухопроводе или паропроводе редукционного вентиля, который регулирует постоянное давление.

Регулирование подачи мазута. Плавное и точное регулирование подачи мазута в форсунку является одним из основных условий для нормальной её работы. На многих заводах

<sup>1</sup> Теоретическое количество воздуха, требуемое для сгорания 1 кг мазута, равно 11 м<sup>3</sup>.



Фиг. 35. Форсунка высокого давления

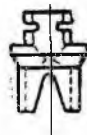


Фиг. 36. Американский регулировочный вентиль

Клапан 1



Клапан 2



Фиг. 37. Клапаны вентилей

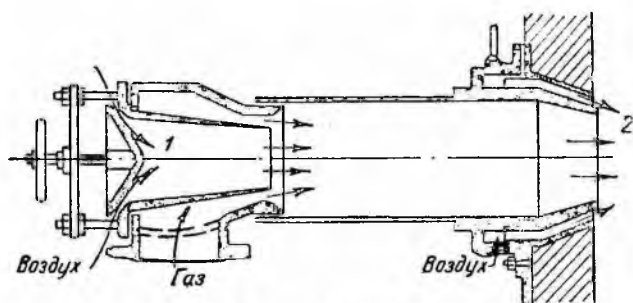
до сих пор для этой цели применяются обычные водопроводные вентили, которые совершенно не обеспечивают требуемое регулирование и могут применяться только как запорные. Обычно незначительный поворот маховичка у такого вентилей вызывает резкое изменение количества подаваемого мазута, в результате этого печь начинает сильно дымить со всеми вытекающими отсюда последствиями. Игольчатые вентили тоже дают весьма грубую регулировку.

Только вентили с цилиндрическим клапаном (фиг. 36), имеющим постепенно расширяющийся пирамидальный вырез, дают плавную тонкую регулировку подачи мазута.

Обычный ventиль легко можно переделать на регулировочный; для этого необходимо клапан ventиля 1 (фиг. 37) заменить цилиндрическим клапаном 2<sup>1</sup>.

#### 4. Сжигание газообразного топлива

Способы сжигания. В настоящее время газообразное топливо широко применяется для сжигания в заводских печах. Это топливо является во всех отношениях наиболее удобным, так как лёгкая смешиваемость газа с воздухом и возможность подогрева не только воздуха, но и газа, создают наиболее благоприятные условия для горения — почти без избытка воздуха. Кроме того, возможность использования почти любого местного



Фиг. 38.-Газовая горелка Тербека

топлива (включая и отходы) для газификации открывает пути для повсеместного внедрения газообразного топлива в промышленность. Широкому применению газа до сих пор препятствовала его сравнительно высокая стоимость, связанная с необходимостью устройства специальной газогенераторной станции для получения газа.

Сжигание газа в заводских печах производится посредством специальных горелок, которые в основном делятся на две группы:

- 1) горелки для пламенного сжигания газа;
- 2) горелки для беспламенного сжигания газа.

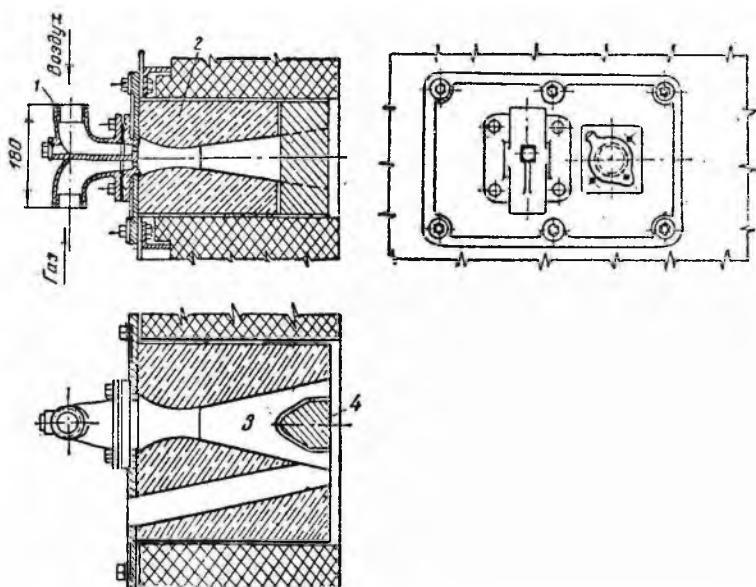
**Пламенные горелки.** В горелках этого типа смешение газа с воздухом происходит в самой горелке или печи, т. е. после выхода газа и воздуха из горелки. Пламенные горелки бывают инжекционные (засасывающие воздух) и с принудительной подачей газа и воздуха.

**Горелка Тербека (фиг. 38).** Эта горелка относится к инжекционным горелкам; в неё под давлением поступает газ, который инжестирует (засасывает) через отверстие 1 из атмосферы первичный воздух. К образующейся газовой смеси через отверстие 2 поступает дополнительный, вторичный воздух. Поступ-

<sup>1</sup> На Ижорском заводе применена видоизменённая конструкция ventиля, предусматривающая устранение указанного недостатка (ТЕХСО 3867).

ление вторичного воздуха зависит от степени разрежения<sup>1</sup> в топке. Следовательно, изменение разрежения в топке будет нарушать правильность горения; это является недостатком горелок данного типа.

В горелках с принудительной подачей газа и воздуха этот недостаток устранён. В такой горелке газ и воздух подаются низким давлением, что легко осуществляется на практике. Газ



Фиг. 39. Горелки Союзтепlostроя малой производительности

подаётся непосредственно с газогенераторной станции под давлением 50—150 мм вод. ст., а воздух подаётся вентилятором под давлением 100—200 мм вод. ст.

Рассмотрим несколько конструкций этих горелок.

Горелка Союзтепlostроя малой производительности (фиг. 39). Эта горелка состоит из литого корпуса 1, разделённого на две части. Верхняя часть служит для подачи воздуха, который выходит из горелки через щелевое отверстие 2; нижняя часть служит для подвода газа, — отсюда газ выходит через ряд небольших отверстий. Следовательно, в этой горелке газ и воздух подводятся раздельно, причём струйки газа и струя воздуха выходят из горелки под углом друг к другу. 3 — обеспечивает лучшее перемешивание газа с воздухом в отверстии стенки печи 3.

<sup>1</sup> Давление меньше атмосферного.

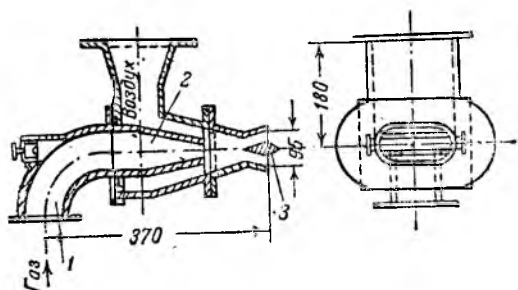
В центре отверстия 3 устанавливается огнеупорный рассека-  
тель (разбойник) 4, также способствующий перемешиванию газа  
с воздухом. К тому же, будучи раскалённым, он ускоряет про-  
цесс горения, являясь как бы катализатором.

Сопло горелки 5 делается отъемным и из жароупорного  
плиты. Горелка посредством болтов 6 крепится к установочной  
плите.

Горелка этого типа может быть рекомендована для малых и  
средних нагревательных печей.

На фиг. 40 показана  
горелка Союзтеплостроя  
большой производи-  
тельности.

Газ и воздух по-  
даются в горелку под  
давлением: воздух по-  
ступает через патруб-  
ок 1, газ через сопло  
прямоугольного сече-  
ния 2. В конце горелки  
происходит смешение  
газа с воздухом.

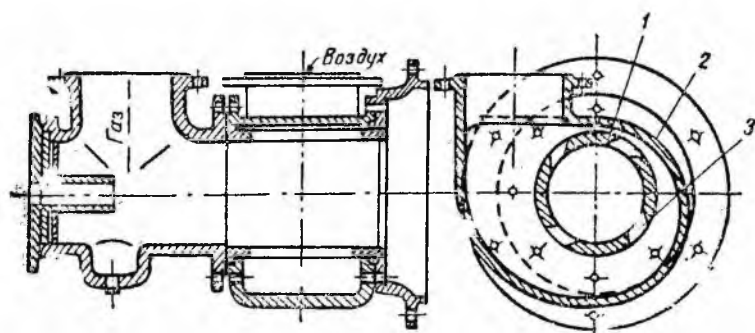


Фиг. 40. Горелка Союзтеплостроя большой  
производительности

На пути выхода газовоздушной смеси из горелки установлен  
рассекатель 3, способствующий лучшему смешению газа с воз-  
духом.

Горелки конструкции Союзтеплостроя просты и показали хо-  
рошие результаты в работе.

Турбулентная горелка Бадер-Салоу (фиг. 41).  
Эта горелка состоит из двух труб; внутренняя труба 1 вставлена



Фиг. 41. Горелка Бадер-Салоу

эксцентрично во внешнюю трубу 2 Газ под давлением поступает  
в трубу 1, сюда же поступает и воздух из трубы 2 через отвер-

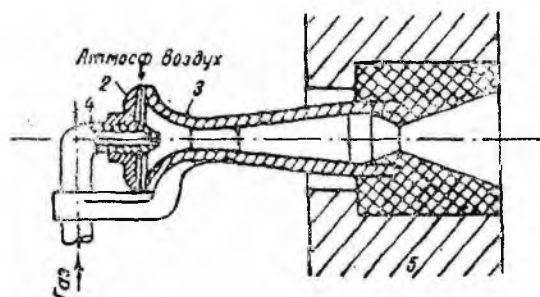
<sup>1</sup> В данном случае под катализатором нужно понимать материал стенок от-  
верстия и рассекателя, который ускоряет реакцию горения и тем самым способ-  
ствует полному горению в малом пространстве печи.

ствия 3. Такое расположение труб 1 и 2 и отверстий 3 способствует сильному завихрению (турбулентному движению) газовоздушной смеси в трубе 1, а следовательно быстрому и хорошему смешению.

Горелки этого типа также хорошо оправдали себя в работе — применяются они главным образом для больших печей.

Подогрев воздуха в горелках Союзтеплостроя допускается до  $400^{\circ}$ , в горелках Бадер-Салоу до  $600^{\circ}$ .

Горелки для беспламенного сжигания газа. В горелках этого типа газ и воздух смешиваются предварительно до поступления в горелку в специальном смесителе, называемом инспиратором. Благодаря предварительному смешению газа с воздухом горение происходит сразу во всей массе газовоздуш-



Фиг. 42. Инжекционная горелка беспламенного горения

ной смеси, т. е. быстро — без пламени. Поэтому эти горелки называются беспламенными. Если смеситель газа с воздухом делается на одну горелку, то он совмещается с самой горелкой.

На фиг. 42 показана инжекционная горелка беспламенного горения с совмещённым смесителем.

Газ, поступающий в горелку через сопло 1 под давлением 500–1500 мм вод. ст. со скоростью 140 м/сек, инжектирует (засасывает) потребный для горения воздух через щель между воздушной шайбой 2 и корпусом смесителя 3.

Воздушная шайба 2 устанавливается на соединительной трубе 4 и посредством нарезки может перемещаться по трубе. Приближая или отдаляя воздушную шайбу 2 от смесителя 3, можно увеличить или уменьшить щель для засоса воздуха, вплоть до прекращения поступления его.

При пуске горелки воздушную шайбу подводят плотно к горловине смесителя во избежание обратных ударов пламени.

Смеситель 3 представляет собой трубку, которая вначале имеет цилиндрическую форму, переходящую затем в форму усечённого конуса.

Образовавшаяся в смесителе газовоздушная смесь поступает через конусообразное отверстие в стенке печи 5 в рабочее пространство последней. Стенки отверстия имеют толщину 30–50 мм, выложены из огнеупорной массы, состоящей из шамотной

глины, шамота и древесных опилок. Опилки быстро выгорают и масса стенок отверстия становится пористой и шероховатой. Раскалённая в процессе горения до высоких температур, она является катализатором (ускорителем) реакций горения.

В беспламенных горелках газ подаётся под высоким давлением. Это необходимо для того, чтобы обеспечить хороший присос воздуха в смеситель горелки. Чем выше калорийность газа, тем больше воздуха необходимо для горения, тем больше должно быть и давление газа. Так, например, при сжигании генераторного газа его рабочее давление должно быть 500—1000 мм вод. ст.

При работе горелок с давлением газа, ниже 500 мм вод. ст. создаются трудности в регулировке и опасность обратного удара пламени в горелку. Наименьшее давление генераторного газа, необходимое для того, чтобы избежать обратного удара, соответствует 100 мм вод. ст. Понятно, что обратный удар пламени в горелку получается потому, что при низком давлении газа скорость истечения из горелки газозоудушной смеси падает и становится меньше скорости воспламенения.

Главное преимущество беспламенного горения — это возможность сжигания газа почти при теоретическом количестве воздуха и, как следствие этого, высокая температура горения. Подогрев воздуха для этих горелок допускается до 300°; чем выше подогрев, тем больше необходимо давление газа.

Горелки беспламенного горения применяются для малых и средних нагревательных печей<sup>1</sup>.

Горелки для неочищенного газа. Рассмотренные горелки служат для сжигания очищенного и холодного газа<sup>2</sup>. Однако во многих случаях целесообразнее сжигать газ неочищенным и горячим. Это даёт возможность использовать физическое тепло газа<sup>3</sup> и содержащиеся в нём пыль и смолу непосредственно в нагревательных печах и получить значительную экономию топлива, достигающую 40% и выше.

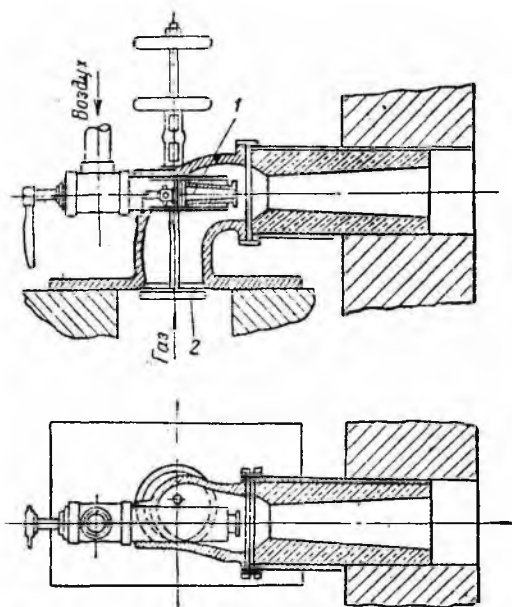
В конструкции горелки для сжигания неочищенного газа должна быть устранена опасность частого загрязнения горелки смолой и пылью; кроме того, горелка должна легко открываться и должна быть доступна чистке.

На фиг. 43 показана инжекционная горелка, отвечающая этим требованиям. Эта горелка применима для очищенного и неочищенного газа. Воздух подаётся в горелку через сопло 1 и инжeksiрует газ, приток которого регулируется клапаном 2. Так как отделяющаяся в горелке смола застывает, то для открытия клапана предусмотрено два маховичка; посредством верхнего маховичка клапан провёртывается на седле, т. е. достигается отделение его от седла, нижним же маховичком производится подъём или опускание клапана.

<sup>1</sup> Такие горелки установлены на печах Ростсельмаша.

<sup>2</sup> Газ при получении в газогенераторных установках подвергается очистке от пыли и смолы.

<sup>3</sup> Физическое тепло — это тепло, израсходованное на нагрев газа.



Фиг. 43. Инжекционная горелка для неочищенного газа

### 5. Регулирование хода печей

Печи, работающие на любом угле или на неочищенном генераторном газе, дают весьма вредные, содержащие серу, газообразные продукты горения. Удалять продукты горения можно за счёт естественной тяги дымовой трубы или же за счёт искусственной тяги, создаваемой вентилятором-дымососом.

*Естественная тяга.* Вспомним, что воздух, окружающий землю, производит давление на её поверхность, равное  $1 \text{ ат}$ , т. е. на каждый квадратный сантиметр поверхности земли воздух давит с силой  $1 \text{ кг}$ . Очевидно, что печь, как и все другие предметы, находящиеся на поверхности земли, подвергаются этому давлению.

Что же происходит при работе печи? Из печи выделяются горячие газы, которые, будучи легче окружающего печь атмосферного воздуха, поднимаются вверх, подобно тому как более лёгкая жидкость (масло) поднимается в сосуде на поверхность более тяжёлой (воды). Заметим, что печные газы будут тем легче, чем они горячее. Разница в весе и является основной причиной движения газов в пространстве печи и выхода их в атмосферу. Рассмотрим это подробнее.

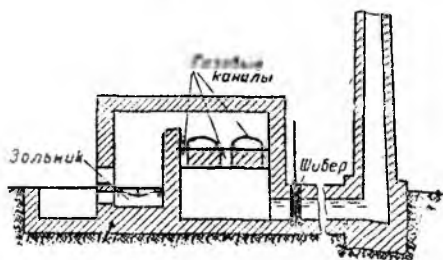
На фиг. 44 изображена печь, сообщаемая посредством дымохода с трубой. При работе печи всё это устройство заполнено горячими газами, которые непрерывно движутся от печи по дымоходу в трубу и далее в атмосферу. Такое непрерывное движение продуктов горения объясняется следующим образом.

У правильно работающей печи с самотягой<sup>1</sup> образующиеся

<sup>1</sup> С естественным притоком воздуха в топку.



при горении газы поднимаются из топки в рабочее пространство печи самостоятельно, как говорят, собственным напором, а на их место через зольник и колосниковую решётку прорывается необходимый для горения воздух. Этот напор образуется вследствие разницы высот топки и рабочего пространства печи, т. е. вследствие разницы весов находящихся в них столбов газа. Напор будет тем больше, чем выше температура газов и чем ниже расположена топка по отношению к поду печи. Если же по конструктивным особенностям печи (высоко расположенная топка) или другим обстоятельствам напор газов мал, то его приходится создавать искусственно — посредством вдувания воздуха вентилятором под колосники топки (топка с дутьём).



Фиг. 44. Печь с естественной тягой

Проследим дальнейшее движение газов. Из рабочей камеры газы через газовые каналы в поду уходят в дымовую камеру, так как в ней должно быть разрежение (давление меньше атмосферного); отсюда собственно труба и начинает работать, т. е. вытягивать печные газы. В этом отношении нагревательные печи отличаются от топок котлов, при которых дымовая труба засасывает воздух через слой топлива.

Тяга создаётся трубой вследствие того, что горячие газы в трубе легче холодного атмосферного воздуха и потому поднимаются по трубе вверх, в атмосферу; в низу же трубы это вызывает образование пустоты, т. е. разрежения, которое будет тем больше, чем выше труба и чем выше температура газов.

Итак, вследствие тяги, а дымовой камере печи и дымоходе образуется необходимое разрежение.

Посмотрим теперь, что произойдёт, если закрыть шибер (заслонку) на дымоходе. Тогда выход печных газов в трубу прекратится и давление в печи будет повышаться, пока не превысит атмосферного давления; следствием этого явится выбивание печных газов через рабочие окна и неплотности печи в помещение цеха. Следовательно, посредством шибера можно регулировать давление в рабочей камере печи, делая его выше или ниже атмосферного. Это важное обстоятельство необходимо помнить и разумно пользоваться шиберами как средством для регулирования работы печи.

Величину разрежения в миллиметрах водяного столба, характеризующую силу тяги дымовой трубы, можно измерять посредством U-образной трубки (фиг. 26). Однако вследствие малых величин разрежения этим прибором трудно достигнуть точного измерения.

Целесообразнее для измерения разрежения применять жидкостный прибор, называемый тягомером Креля (фиг. 45). Основ-

ной частью этого прибора является наклонная стеклянная трубка 1, переходящая в стеклянный резервуар 2, в который наливается подкрашенная жидкость (вода или спирт); резервуар 2 посредством отстойки 3 сообщается с атмосферой. Трубка с резервуаром крепится на деревянной дощечке 4, к которой прикреплена шкала прибора, отградуированная в миллиметрах водяного столба. Благодаря наклонному положению трубки одно деление на шкале, соответствующее разрежению 1 мм вод. ст., получается значительно крупнее, чем в U-образной трубке, это и позволяет производить более точные измерения. При замере разрежения конец трубки соединяют с дымоходом.



Фиг. 45. Тягомер Креля

Неплотности кладки дымохода, небрежно закрытые шиберы у неработающих печей, соединённых с данной трубой, и пр. вызывают прорыв воздуха из атмосферы в дымоход. Часто также дымоходы заливаются водой (особенно при высоком стоянии грунтовых вод). Все эти причины вызывают охлаждение дымовых газов, что в свою очередь приводит к понижению тяги, а иногда и к полному прекращению её.

Естественная тяга имеет ряд недостатков, основные из них следующие:

1) необходимость установки дорогостоящей дымовой трубы;

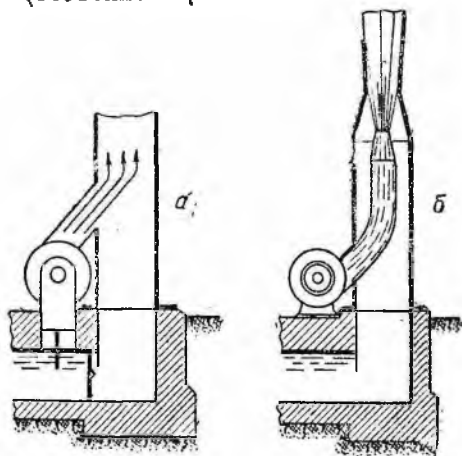
2) трудность создания нужной силы тяги при растопке печи после перерывов в работе (холодная труба плохо тянет);

3) необходимость считаться с атмосферным влиянием на силу тяги (в летнее время труба тянет хуже, чем в зимнее).

**Искусственная тяга.** Указанные выше недостатки естественной тяги заставляют иногда применять искусственную тягу посредством вентилятора-дымососа. В этом случае нет необходимости устанавливать большую, дорогостоящую трубу. Искусственная тяга (фиг. 46) устраивается в виде прямой а или косвенной б тяги.

При прямой тяге дым из дымохода засасывается непосредственно вентилятором и выбрасывается в рядом стоящую невысокую трубу.

При косвенной тяге в трубу через коническую насадку вдувается вентилятором воздух. Благодаря конической насадке воз-



Фиг. 46. Искусственная тяга

дым. Дух врывается в трубу с большой скоростью, увлекая за собой дым.

Над печами, выбрасывающими продукты горения непосредственно в цех (фиг. 52), устанавливаются специальные дымоудавливающие зонты, через которые посредством вентилятора и системы трубопроводов дым удаляется в атмосферу.

**Газоанализаторы.** Нам известно, что одним из основных условий правильной эксплуатации печи является экономное сжигание топлива.

Показателем экономного сжигания топлива является характер горения. Горение бывает полным, когда продукты горения состоят в основном из углекислоты  $\text{CO}_2$  и водяных паров  $\text{H}_2\text{O}$ . Горение бывает неполным, когда помимо этих элементов в продуктах горения находятся угарный газ  $\text{CO}$  и водород  $\text{H}$ . Следовательно, по составу продуктов горения можно судить о характере горения, а отсюда и о том, насколько экономно происходит сжигание топлива. Для контроля за составом продуктов горения пользуются специальными приборами — газоанализаторами; они делятся на ручные и автоматические. Первые служат для кратковременного периодического контроля, вторые — для регулирования процесса горения. Имеется много конструкций газоанализаторов; у печей обычно устанавливают автоматические газоанализаторы с показаниями на углекислоту  $\text{CO}_2$ , окись углерода  $\text{CO}$  и водород  $\text{H}$ . Газоанализатор снабжён дальноточителем, состоящим из циферблата со стрелками; по указанию последних и можно судить о составе продуктов горения печи.

## Глава V

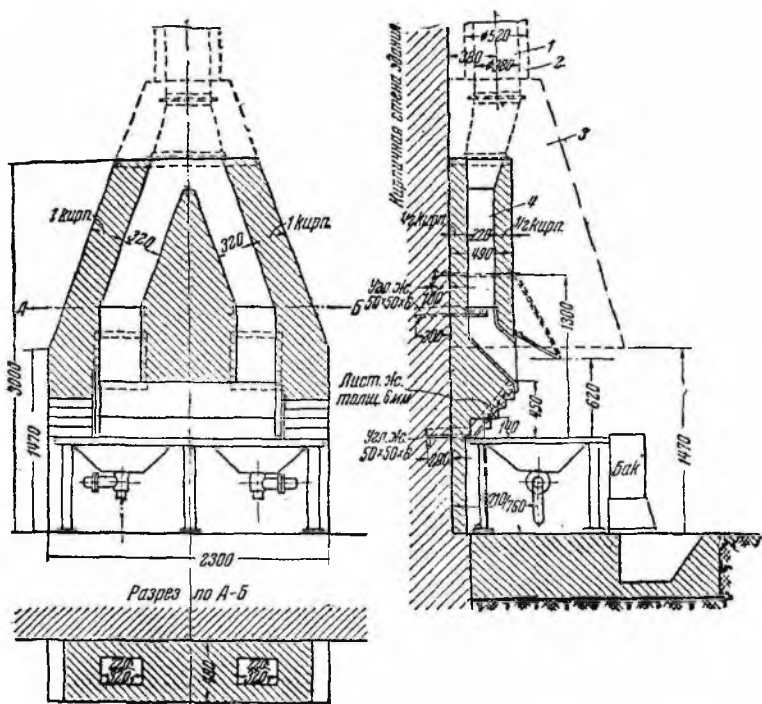
### ПЕЧИ КУЗНЕЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

#### 1. Кузнечные горны

Не так давно на многих металлообрабатывающих заводах нагрев металла производился в открытых горнах. С постройкой новых мощных кузнечных цехов и реконструкцией старых, оснащённых новейшим оборудованием (молотами, прессами, ковочными машинами и др.), горны как нагревательные устройства не смогли удовлетворить производительность кузнечных машин, т. е. послужили разрыв между производительностью нагревательного устройства и производительностью молота или ковочной машины. Этот недостаток усугубляется невозможностью создать в горнах нужный режим нагрева металла, большим удельным расходом топлива<sup>1</sup> и рядом других обстоятельств.

**Открытые горны.** Обычный открытый горн состоит из корытообразного стола, в углубление которого насыпается уголь; снизу или сбоку подводится дутьё воздуха под давлением 100—150 мм вод. ст. Нагреваемая заготовка или её конец закладывается в го-

<sup>1</sup> Удельным расходом топлива называется расход на единицу веса нагретого металла.



Фиг. 47. Кузнечный горн с двойной естественной вытяжкой

рящий уголь. Благодаря спеканию угля сверху очага горения образуется корка, которая сосредоточивает «жар» вокруг нагреваемой заготовки. Газообразные продукты горения (дым) улавливаются специальным зонтом, откуда вентилятором или естественной тягой отводятся наружу. Отвод продуктов горения от горнов, особенно при растопках, доставляет много хлопот и не всегда удаётся полностью. Естественная вытяжка обычным способом, т. е. трубой, установленной на зонте, работает неудовлетворительно, особенно при растопках горна, и способствует сильному задымлению цеха. Искусственная же вытяжка дымососом даёт хорошие результаты при условии достаточной мощности последнего, что, однако, связано с значительным расходом электроэнергии.

В конструкции горна, представленной на фиг. 47, данный вопрос разрешён весьма удачно. Оригинальность этой конструкции заключается в двойной вытяжке дыма посредством двух труб 1 и 2, вставленных одна в другую. Таким образом, часть дыма непосредственно по каналу 4 выходит через внутреннюю трубу, другая же часть, попадая под зонт 3, выходит через наружную трубу 2. Благодаря такому устройству внутренняя труба подогревается снаружи и тем самым увеличивается тяга. Такие

<sup>1</sup> Конструкция инж. А. С. Сколзубова.

вытяжки у горнов показали на практике хорошие результаты работы.

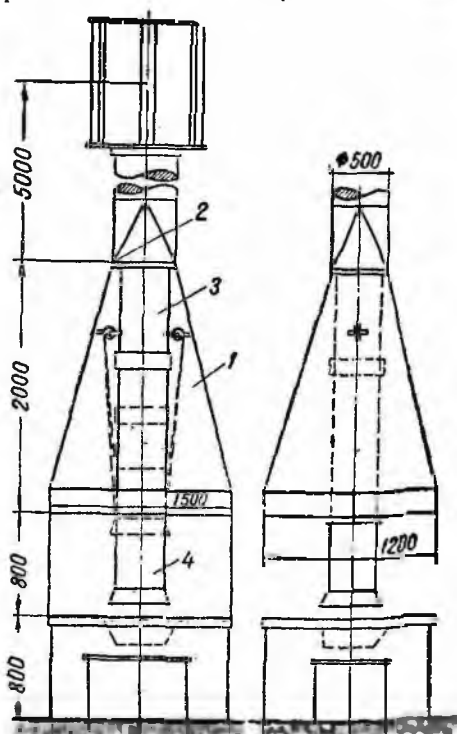
Кузнечные горны располагаются часто около стен цеха. В данном случае обычная вытяжка может быть легко переделана на вытяжку рассмотренной конструкции.

Эта переделка может быть проведена следующим путём. К кирпичной стене здания, около которой расположены горны, делается дополнительная кирпичная кладка (показана на фиг. 47 густой штриховкой) с двумя наклонно расположенными каналами, сходящимися вверху в один общий канал; продолжением этого канала является внутренняя вытяжная труба диаметром 380 мм. Над входами наклонных каналов подвешены козырьки. Дым от горна, ударяясь в эти козырьки, частично уходит по наклонным каналам и внутренней трубе в атмосферу. Козырьки служат также и для закрытия каналов, когда горн долго не работает. Другая часть дыма уходит под зонт и отсюда по наружной трубе диаметром 520 мм — в атмосферу.

При переделке вытяжки зонты и трубы, ранее установленные над горнами, могут быть использованы.

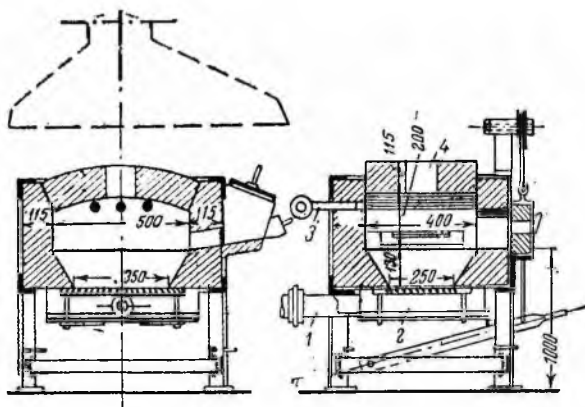
Таким образом, переделка горнов на естественную вытяжку даёт возможность сократить потребность цеха в электроэнергии, освобождает от необходимости обслуживать дымососы и пр. Задымление же цеха от горнов полностью прекращается.

На фиг. 48 показана вытяжка от кузнечного горна конструкции МИОТ<sup>1</sup>. У этой вытяжки помимо зонта 1 с трубой 2 имеется труба 3, которая вверху имеет выход в трубу 2. Нижний конец трубы 3 заканчивается выдвижным патрубком 4, который посредством тросов, перекинутых через блоки, может опускаться или подниматься над огнём горна. Такое устройство даёт возможность располагать конец вытяжной трубы непосредственно над огнём. Это способствует наиболее полному удалению газообразных продуктов горения.



Фиг. 48. Кузнечный горн с вытяжкой МИОТ.

<sup>1</sup> Московский институт охраны труда.



Фиг. 49. Угольный горн конструкции ЦНИИТМАШ

**Закрытые горны.** Закрытые горны применяются для нагрева мелких заготовок при массовом производстве. Показанный на фиг. 49 угольный горн конструкции ЦНИИТМАШ состоит из металлической коробки, выложенной огнеупорным кирпичом. Воздух, необходимый для горения, подаётся в горн снизу от вентилятора через трубу 1 и коробку 2; толщина слоя топлива 130—180 мм. Для дожигания горючих летучих в верхней части горна предусмотрен подвод вторичного воздуха через отверстие 3. Продукты горения отводятся из горна через отверстие 4.

Производительность горна с подом размером  $400 \times 500$  мм равна 100—120 кг/час; расход антрацита или угля 12—14 кг/час. Разогрев горна до температуры  $1300^\circ$  производится за 30—40 мин.<sup>1</sup>

Закрытые горны строятся также для работы на жидком и газообразном топливе.

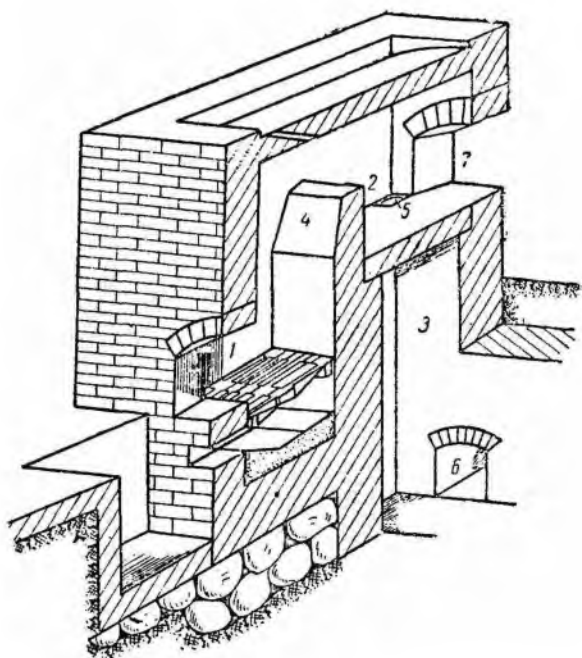
## 2. Устройство и подразделение печей

**Устройство печи.** В кузнечном производстве применяются так называемые пламенные печи (фиг. 50), т. е. такие, в которых металл нагревается непосредственно пламенем полученным при горении топлива.

Пламенная нагревательная печь состоит из трёх основных частей: топки 1, назначение которой — сжигать топливо, рабочей или нагревательной камеры 2, где нагревается металл, и дымовой камеры 3, назначение которой — собирать уходящие из рабочей камеры газы и отводить их в трубу.

Топка отделяется от нагревательной камеры порогом 4, который, создавая сужение, с одной стороны способствует лучшему перемешиванию горючих газов с воздухом, а с другой — препятствует скатыванию нагреваемых заготовок в топку.

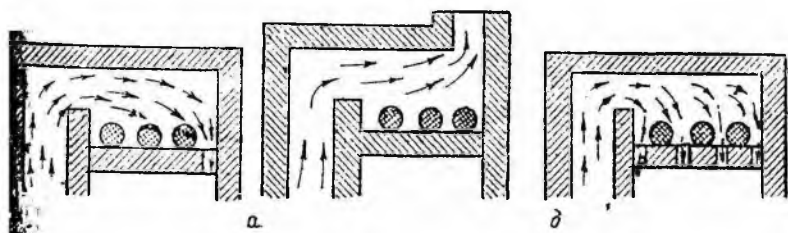
<sup>1</sup> В. А. Куроедов, Печи для нагрева металла, Машгиз, 1911.



Фиг. 50. Камерная печь на твёрдом топливе

Нагревательная камера отделяется от дымовой подом, на котором размещаются заготовки для нагрева. Для отвода газов из нагревательной камеры в дымовую в поду сделаны отверстия — газовые каналы 5.

Правильное расположение газовых каналов в печи, своевременный ремонт и чистка их имеют большое значение как для



Фиг. 51. Расположение газовых каналов

правильного нагрева металла, так и для лучшего использования топлива. Выход газам из печи следует всегда давать с пола. Если бы каналы для выхода газов были в верхней части свода (фиг. 51,а), то газы совсем не омывали бы заготовки и нагрев их протекал бы плохо. В печах с самотягой газовые каналы для более равномерного омывания заготовок газами следует располагать по всем сторонам печи (фиг. 51,б).

Дымовая камера находится под рабочей камерой печи, что даёт возможность уходящим газам подогревать под печи снизу; такая печь, как говорят, работает «с горячим полом», т. е. лучше греет. Высота дымовой камеры в печах с самотягой имеет большое значение: чем больше дымовая камера по объёму, тем равномернее она отбирает газы из нагревательной камеры и тем лучше печь нагревает металл. Из дымовой камеры газы (дым) по дымоходу б уходят в трубу. В дымоходе, около печи, устанавливается шибер (фиг. 44).

Печи делают и без дымовой камеры, тогда отвод газов наружу происходит главным образом за счёт напора, создаваемого дутьём воздуха через колосниковую решётку топки или через форсунку (горелку). В таких печах газы обычно выбрасываются непосредственно в цех через каналы 3 в стенках печи (фиг. 53) или через рабочее окно.

Шиберам (заслонкой) регулируют выход газов из печи и закрывают печь на время остановок. Исправное состояние шибера и умелое пользование им помогают экономно сжигать топливо, правильно нагревать металл и не задымлять цех.

Рабочее окно 7 служит для загрузки и выдачи нагреваемых заготовок; закрывается оно посредством двери или заслонки.

Необходимо помнить, что исправное состояние, правильная установка и своевременное плотное аккуратное закрывание заслонки не только удлиняют срок её службы, но и главным образом помогают правильно нагревать металл и экономно использовать тепло топлива; через щели при неисправной или небрежно закрываемой заслонке в печь может прорываться холодный воздух или выбиваться пламя в цех.

Подразделение печей. Кузнечные печи имеют несколько подразделений, из них наиболее характерные определяют по следующим признакам:

1) по способу загрузки и нагреву металла — печи периодические (камерные) (фиг. 50) и методические (фиг. 63);

2) по видам сжигаемого топлива — печи угольные (фиг. 54), нефтяные (фиг. 52) и газовые (фиг. 53);

3) по расположению топок — печи с верхней топкой, печи с нижней топкой (фиг. 58), печи с боковой топкой (фиг. 57) и печи прямого действия, когда сжигание топлива происходит непосредственно в рабочей камере печи (фиг. 53);

4) по способам предварительного подогрева воздуха, поступающего в печь, — печи рекуперативные (фиг. 52) и регенеративные (фиг. 67).

Камерные печи загружаются периодически, в таких печах температура во всех точках рабочего пространства почти одинакова.

Методические печи являются печами непрерывного действия, в них температура изменяется по длине рабочего пространства.

Выбор того или другого типа печи зависит от характера производства, сорта и размера нагреваемого материала. Не сорта стали можно нагревать с одинаковой скоростью: заготовки одного сорта можно загружать сразу в раскалённую печь и на



нагревать их быстро: заготовки же других сортов (твёрдые, специальные стали, вообще крупные заготовки и слитки) нужно нагревать постепенно, так как в противном случае в них могут образоваться трещины<sup>1</sup>.

В первом случае заготовки чаще всего нагреваются в камерных печах. В камерной печи (фиг. 50) пламя из топki 1 поступает в рабочую камеру 2, нагревает металл и через отверстия 3 (газовые каналы) в поду печи газы уходят в дымовую камеру 3, а отсюда по дымоходу — в трубу.

Работа камерных печей протекает следующим образом: через определённые промежутки времени (периоды) производится загрузка (садка) заготовок в печь, здесь они нагреваются до ковочной температуры и затем выдаются дляковки; на место выданных заготовок в раскалённую печь загружается другая партия и т. д.

Постепенное непрерывное нагревание заготовок лучше всего производится в методических печах. Такая печь имеет две и более рабочих камер (фиг. 63). Из них длинная камера служит для подогрева металла и называется подогревательной камерой. Печь работает так: пламя из топki поступает в нагревательную камеру 1 и здесь нагревает заготовки до ковочной температуры; отсюда печные газы переходят в подогревательную камеру 2, где подогревают следующие заготовки. Из подогревательной камеры газы через отверстия (газовые каналы) в поду спускаются в дымовую камеру и уходят в трубу. Заготовки загружаются в подогревательную камеру 2 через рабочее окно и постепенно продвигаются по поду в нагревательную камеру 1 ручным способом или специальным механическим толкателем. Из камеры 1 нагретые заготовки выдаются дляковки через окно.

Нетрудно видеть, что в такой печи заготовки движутся навстречу омывающему их пламени так, что наиболее горячее пламя приходит в соприкосновение с наиболее сильно нагретыми заготовками. Этим путём достигается лучшее использование тепла пламени и более правильный постепенный (методический) нагрев металла.

Методические печи, независимо от нагреваемого сорта стали, выгодно применять и в случаях, когда нагревается большое количество одинаковых заготовок, т. е. при массовом производстве.

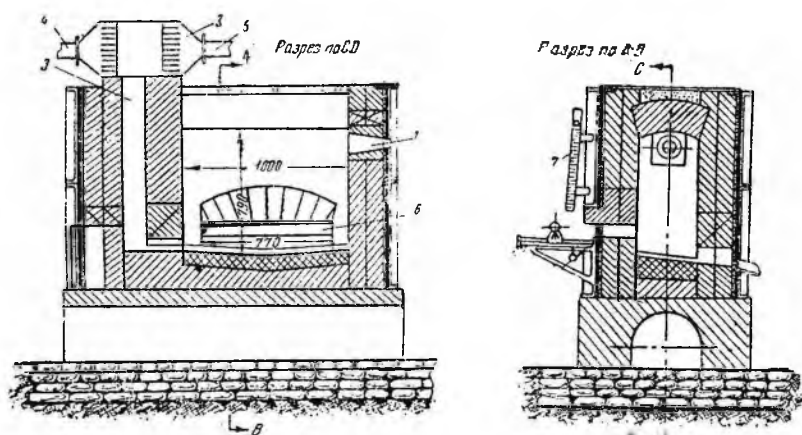
Рассмотрим несколько конструкций кузнечных печей, работающих на различных видах топлива, причём для удобства разделим их на три группы: малые, средние и большие.

### 3. Малые печи

К группе малых печей можно отнести печи, в которых производится нагрев мелких заготовок, преимущественно для небольших молотов, ковочных машин и прессов.

<sup>1</sup> Подробно об этом изложено в главе VIII.

На фиг. 52 представлена одна из таких печей; она работает на мазуте или газе, сжигаемом непосредственно в рабочем пространстве. Мазут (форсункой) или газ (горелкой) подаётся в печь через отверстие 1; заготовки же закладываются через рабочее окно 6. Печь оборудована ребристым рекуператором 2, установленным наверху. Продукты горения из печи поступают в рекуператор по каналу 3. Холодный воздух поступает в рекуператор



Фиг. 52. Печь для нагрева мелких заготовок

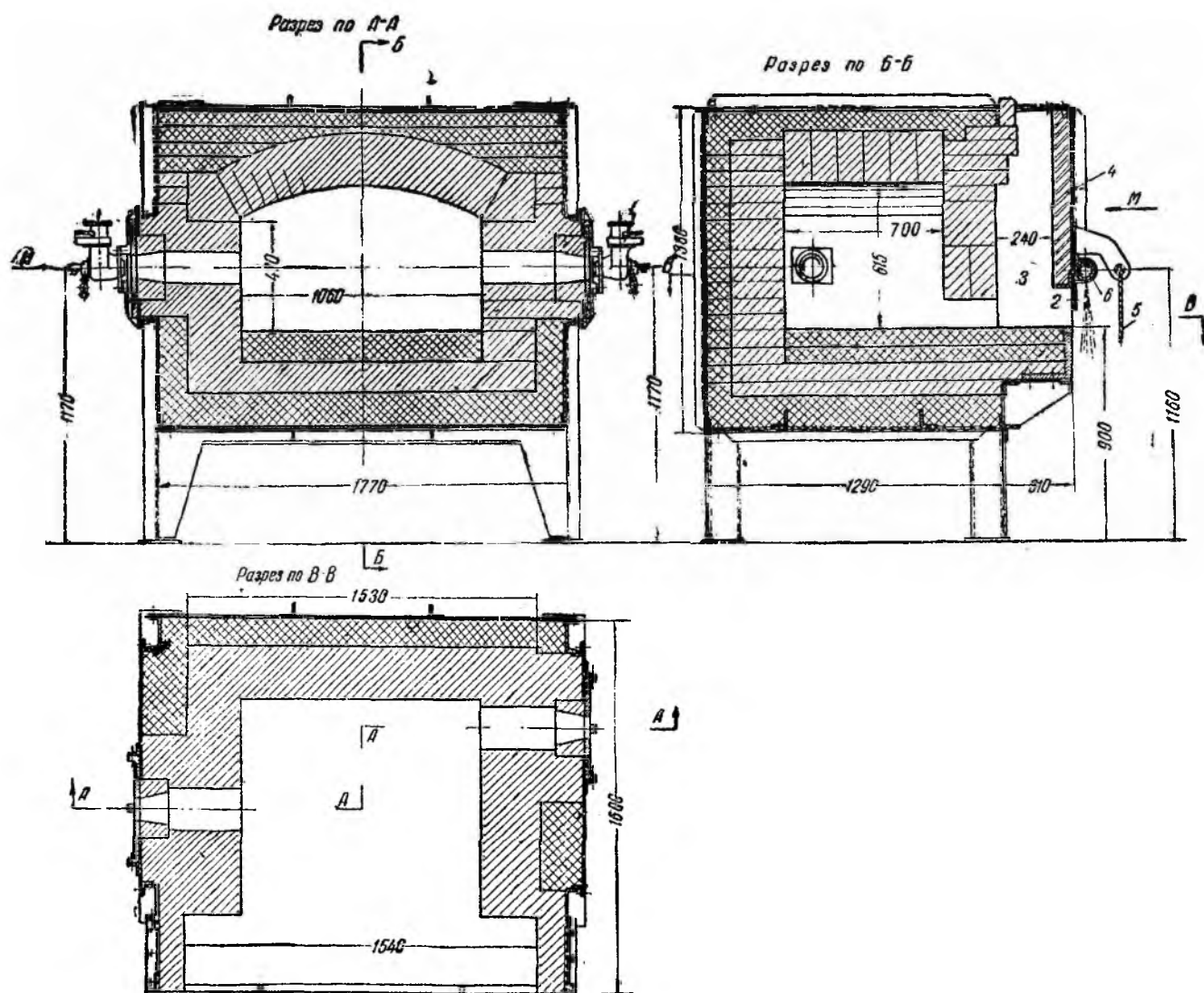
по трубе 4; отсюда подогретый воздух поступает в форсунку или горелку по трубе 5. Перед загрузочным отверстием подвешена плоская коробка-экран 7, в которую непрерывно поступает холодная вода.

Кроме того, перед рабочим окном внизу устанавливается труба 8 с рядом отверстий по длине; в этой трубе от вентилятора подводится воздух. Струйки воздуха, вытекая с большой скоростью из отверстий в трубе, препятствуют выбиванию газов из рабочего окна печи. Таким образом, это устройство, являясь «отбойником» газов, защищает рабочего от возможных ожогов. Следует отметить, что это устройство достигает цели только при правильных и аккуратно просверленных отверстиях на трубе; тогда, когда толщина стенки отверстия не менее двух его диаметров.

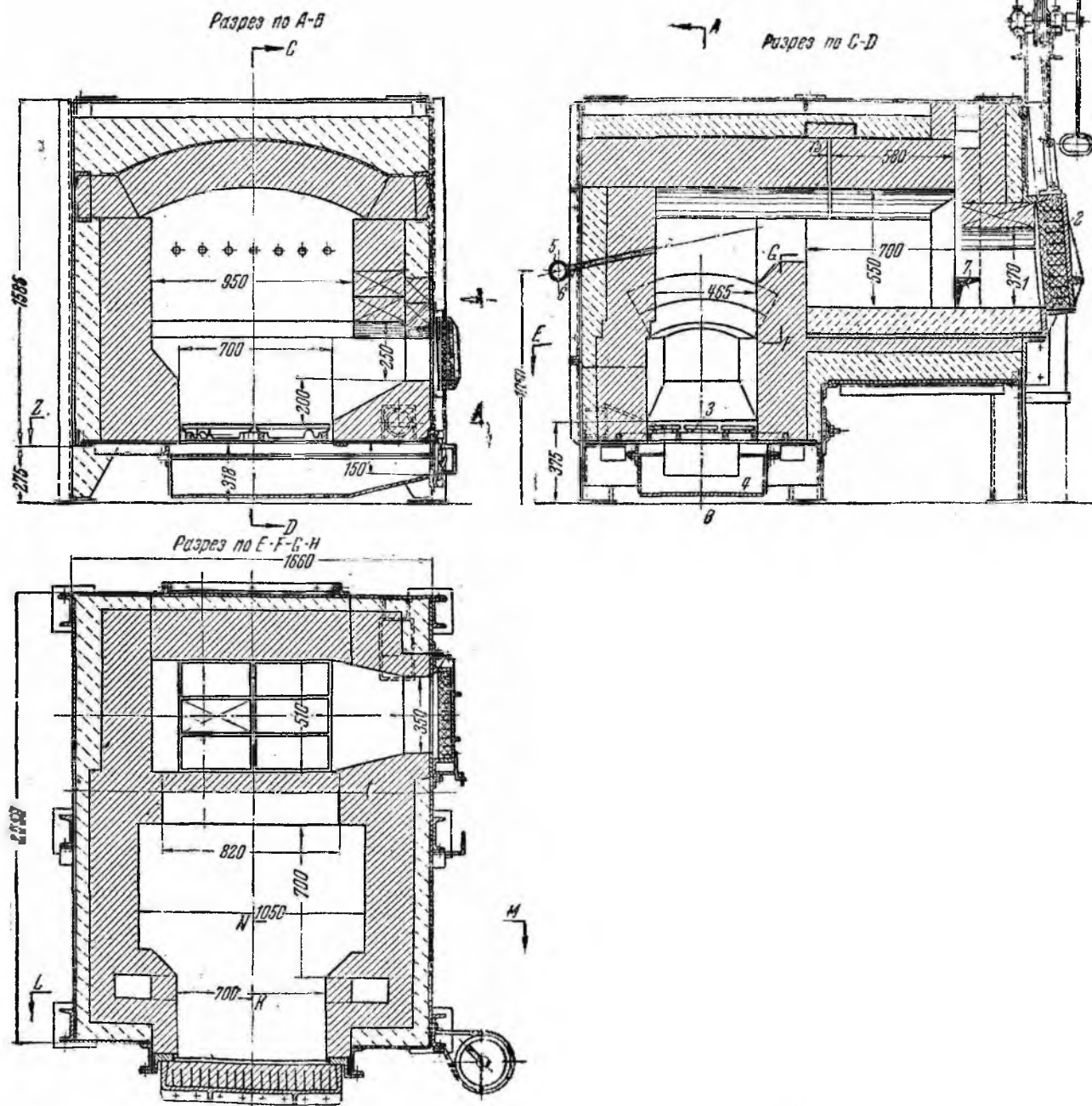
На фиг. 53 представлена одна из типовых печей<sup>2</sup>; она работает на мазуте или газе. Печь оборудована двумя форсунками (горелками) 1; заготовка загружается в печь через щелевое отверстие 2. Через это же отверстие отводятся продукты горения, которые по каналу 3 выбрасываются или непосредственно в цех или под зонт, устанавливаемый над печью.

<sup>1</sup> Конструкция инж. В. Е. Харитонов, построенная на Пролетарском заводе в Ленинграде. Печь оборудована ребристым рекуператором конструкции Я. Лемлек.

<sup>2</sup> Конструкция Союзтеплостроя.



Фиг. 53. Переносная печь на жидком или газообразном топливе

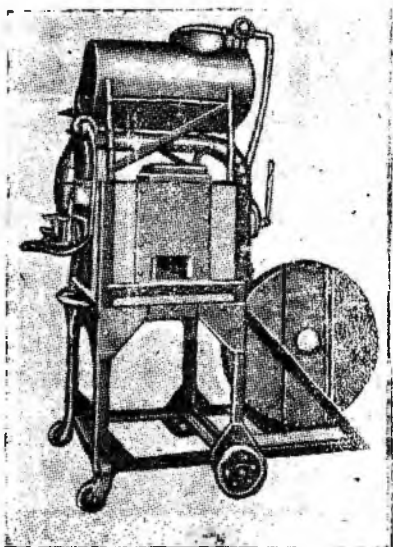


Фиг. 54. Переносная печь на твёрдом топливе

Внешняя стенка (экран) 4 канала 3 набивается огнеупорной малотеплопроводной массой. Печь работает с открытым рабочим отверстием; для защиты от теплоизлучения перед рабочим отверстием 2 подвешены четыре откидных щитка 5. Кроме того, перед рабочим отверстием устанавливается воздушный отбойник 6. Кладка печи выложена в кожухе, который сварен из листового железа толщиной 5 мм и угольников 75 × 75 × 8 мм. Печь имеет четыре ножки и может переставляться от одного ковочного агрегата к другому.

На фиг. 54 представлена переносная печь, работающая на твердом топливе (антраците)<sup>1</sup>.

Печь имеет одно рабочее окно 1, которое плотно закрывается заслонкой 2. Топка у печи полугазовая; колосниковая решётка составлена из плитчатых колосников 3, дающих сосредоточенное дутьё. Зольник топки 4 представляет собой железную коробку, которая посредством угольников и болтов крепится к нижней части топки. Вторичный воздух подводится в топку посредством трубы 5 и трубок 6, последние подводят воздух в топку тонкими струями и с большой скоростью; это способствует лучшему перемешиванию полугаза с воздухом и обеспечивает полное горение с наименьшим избытком воздуха. Газообразные продукты отводятся по каналам 7, выложенным в стенках печи.



Фиг. 55. Передвижная печь на жидком топливе

#### Результаты испытания переносной печи<sup>2</sup>

Производительность . . . . .	350 кг/м <sup>2</sup> /час
Напряжение колосниковой решётки . . . . .	150 кг/м <sup>2</sup> /час
Удельный расход топлива . . . . .	17%

Отдельные недостатки в конструкции печи: нет необходимости в устройстве опрокидывающих колосников 8 в заднем ряду решётки, так как топка неглубокая и короткая; следовательно, удобна для чистки. Окно 1 топки следовало бы оборудовать подъёмной заслонкой, так как при открывающейся на сторону дверце 9 создаётся возможность ожогов об её внутреннюю раскалённую поверхность и повышается теплоизлучение от дверцы.

На фиг. 55 изображена передвижная печь, смонтированная на тележке вместе с дутьевым вентилятором и баком для мазута.

Целесообразность применения переносных печей очевидна: на-

<sup>1</sup> Союзтеплострой. Нормаль № 2142.

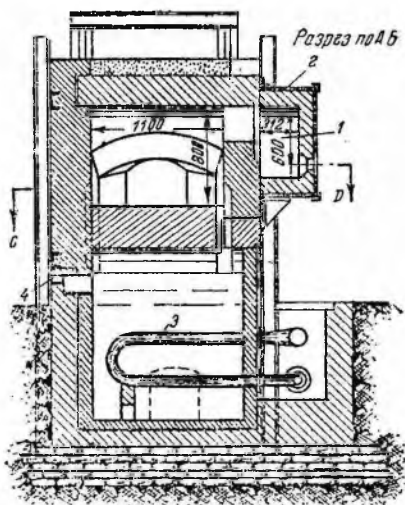
<sup>2</sup> Данные Союзтеплострой, Московское отделение.

личие их в цехе позволяет наиболее легко содержать печное хозяйство в исправном состоянии при наибольшем использовании ковочных агрегатов. Для ремонта печь переносится и на её место устанавливается другая — исправная; следовательно, в работе ковочного агрегата не будет перерывов.

#### 4. Средние печи

Печи среднего размера наиболее распространены: в них производят нагрев заготовок слитков различных сортов весом от нескольких килограммов до 1 т.

На фиг. 56 показана печь, работающая на мазуте<sup>1</sup>; она имеет выносную боковую топку 1, оборудованная одной форсункой низкого давления. Кладка топки



Фиг. 56. Печь с выносной топкой для сжигания жидкого топлива

помещена в железном кожухе, крышка 2 которого для удобства ремонта сделана отъемной. Преимущество выносной топки видно из следующего: обычно раньше всего у печи перегорает кладка топки, и для ремонта её печнику приходится влезать в печь. Это вызывает остановку печи на несколько дней и создаёт неблагоприятные условия труда при ремонте. У рассматриваемой же печи ремонт топки и близрасположенной к ней кладки можно производить снаружи через несколько часов после остановки печи, для чего снимают крышку 2. Печь имеет дымовую камеру, в которой установлен зубчатый рекуператор 3. Стенки печи изодированы пенобетоном.

На фиг. 57 представлена печь с полугазовой топкой для сжигания антрацита<sup>2</sup>. Топка имеет горизонтальную колосниковую решётку. Первичный воздух подаётся в зольник вентилятором через отверстие.

Для предупреждения возможности образования жидкого шлака предусмотрено увлажнение воздуха. Образующийся при горении полугаз в верхней части топки смешивается с вторичным воздухом, который поступает в топку мелкими струйками с большой скоростью через отверстия 3.

На фиг. 58 показана печь с полугазовой топкой<sup>3</sup>; она работает на смеси антрацита (80—90%) и газового угля (10—20%). Топка печи помещена под чодом рабочей камеры, что создаёт

<sup>1</sup> Конструкция автора.

<sup>2</sup> Конструкция Оргэнерго, Ленинградское отделение.

<sup>3</sup> Конструкция Харьковского отделения Энергочермет



компактность конструкции. Большой объём топки позволяет производить загрузку топлива один-два раза в смену, благодаря этому обеспечивается постоянный режим в рабочей камере печи. Топка имеет горизонтальную колосниковую решётку 1, собранную из брусчатых колосников. Горючий газ из топки по каналу 2 направляется в рабочее пространство печи. Вторичный воздух подводится с большой скоростью по трубе 3; правильный подвод вторичного воздуха обеспечивает хорошее его смешение с горючим газом, благодаря чему температура в печи достигает 1500°.

Обычные однокамерные кузнечные печи крайне не экономичны. Объясняется это тем, что газы уходят из рабочей камеры печи с высокой температурой (не ниже температуры нагрева металла), т. е. с большим теплосодержанием. Отсюда понятно, что наиболее полного использования тепла можно добиться в двухкамерных печах, где в одной из камер (подогревательной) заготовки будут подогреваться за счёт тепла уходящих газов из другой камеры. Кроме того, в таких печах достигается и более правильный нагрев заготовок (с предварительным подогревом).

На фиг. 59 представлена двухкамерная печь с переменным направлением потока пламени<sup>1</sup>, т. е. при чередующейся работе обеих топков. Эта печь работает на мазуте. Рабочие камеры 1 и 2 сообщаются между собой через окна 3. Под рабочими камерами расположены три дымовые камеры 4, 5, 6, сообщающиеся с дымоходом шиберами 7, 8 и 9. Такое устройство печи даёт возможность работать одновременно самостоятельно двумя камерами и каждой отдельно, используя в то же время тепло отходящих газов одной камеры для подогрева заготовок в другой камере (подогревательной). Рассмотрим каждый из этих случаев.

1. Если печь работает двумя камерами одновременно, то форсунки горят в обеих камерах. Газы из топков 10 и 11 поступают в рабочие камеры 1—2, нагревают металл, отсюда через газовые каналы 12—13—14 спускаются в дымовые камеры 4, 5 и 6. В этом случае все шиберы 7, 8, 9 должны быть открыты, т. е. каждая камера работает как самостоятельная печь.

2. Если же заготовки необходимо нагревать до ковочной температуры медленно с предварительным подогревом, зажигают форсунки только в одной топке, например в топке 10. Пламя из топки 10 поступает в рабочую камеру 1, нагревает заготовки, отсюда через окна 3 газы переходят в рабочую камеру 2, где подогревают другую партию заготовок, затем через газовые каналы камеры 2 спускаются в дымовую камеру 6 и уходят в дымоход. В этом случае должен быть открыт только шибер 9, шиберы же 7—8 должны быть закрыты. После нагрева заготовок в камере 1 до ковочной температуры и выдачи их форсунки гасятся и переключаются шиберы, т. е. оставляют открытым только шибер 7, после чего зажигают форсунки в топке 11. При

<sup>1</sup> Впервые автором такие печи были построены на Пролетарском заводе в Ленинграде. Позднее печи аналогичной конструкции на твёрдом топливе построены Ленинградским отделением Энергочермет на металлическом заводе им. Сталина.



ком положении печь будет работать наоборот: камера I становится подогревательной, в неё и загружают новую партию заготовки. Заготовки же камеры 2 (подогретые) будут нагреваться теперь до ковочной температуры. Нагрев заготовок до ковочной температуры может производиться и без переключения печи или путём пересадки их из подогревательной камеры в камеру высоких температур этой же печи или пересадкой в другую печь. Тот или другой порядок нагрева устанавливается в зависимости от возможностей цеха (транспортные средства и пр.), а также в зависимости от качества и размера нагреваемого материала.

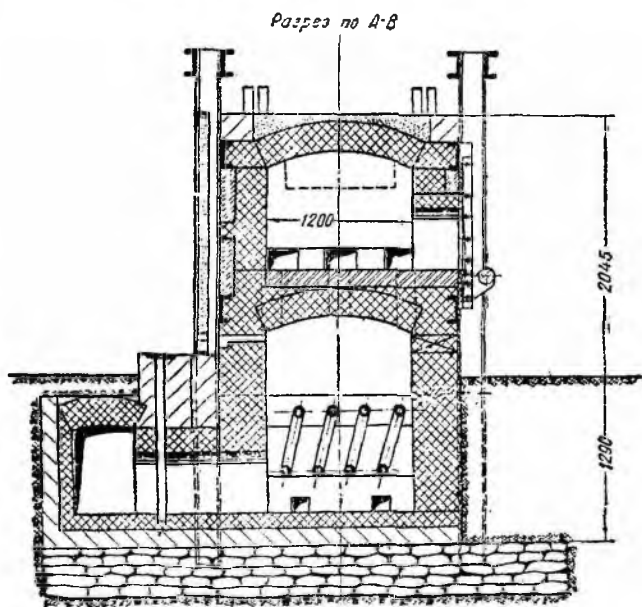
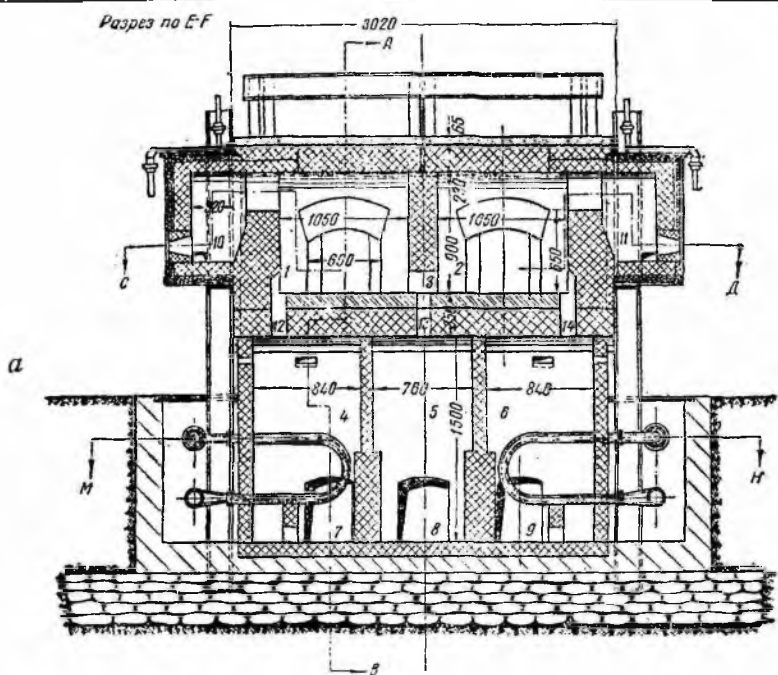
Подогрев форсуночного воздуха производится трубчатым рекуператором, установленным в дымовой камере печи; он состоит из четырёх загнутых железных труб диаметром 3", концы которых соединены двумя трубами; одна из них подводит холодный воздух, другая — собирает нагретый воздух. Воздух, проходя по трубам, нагревается до 200—250°. Рекуператор прост, недорог и долговечен; быстро и удобно ремонтируется заменой прогоревшей трубы. Кроме того, прогоревшая труба может быть выключена установкой прокладок в соединительных фланцах. Для предупреждения перегрева труб в дымовой камере имеются окна, через которые засасывается холодный воздух из помещения цеха.

Печь имеет внешнюю теплоизоляцию из пенобетона, последняя посредством угольников крепится к стойкам каркаса печи, образуя между поверхностью стенки печи и поверхностью изоляции воздушную прослойку. Длительные наблюдения за этой изоляцией показали вполне удовлетворительную её стойкость и высокие теплоизоляционные свойства. Эту печь можно сравнительно легко переделать для работы на газе или твёрдом топливе. При переделке на газ топки 10 и 11 снимаются и на торцевых стенках печи устанавливаются газовые горелки. При переделке на твёрдое топливо топки для мазута также снимаются и на их место устанавливаются топки для твёрдого топлива.

На фиг. 60 показана переделанная печь для работы на твёрдом топливе. Топки полугазовые, колосниковые решётки с жидким сечением 10—12%, набраны из брусчатых полукруглых колосников (для сжигания антрацита).

Двухкамерная печь с переменным потоком пламени имеет перед однокамерной печью следующие преимущества:

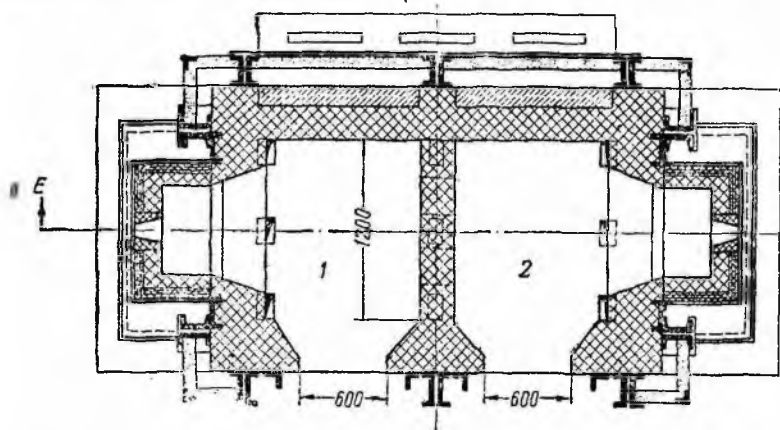
- 1) производительность выше на 30—40 %;
- 2) удельный расход топлива меньше на 25—30 %;
- 3) возможность нагрева легированных сталей;
- 4) возможность использования любой из камер для отжига поковок за счёт тепла отходящих газов из другой камеры;
- 5) при работе любой из камер можно производить ремонт другой камеры; это позволяет обходиться без резервных печей в цехе;
- 6) отъёмные топки создают удобство ремонта и перехода на различные виды топлива.



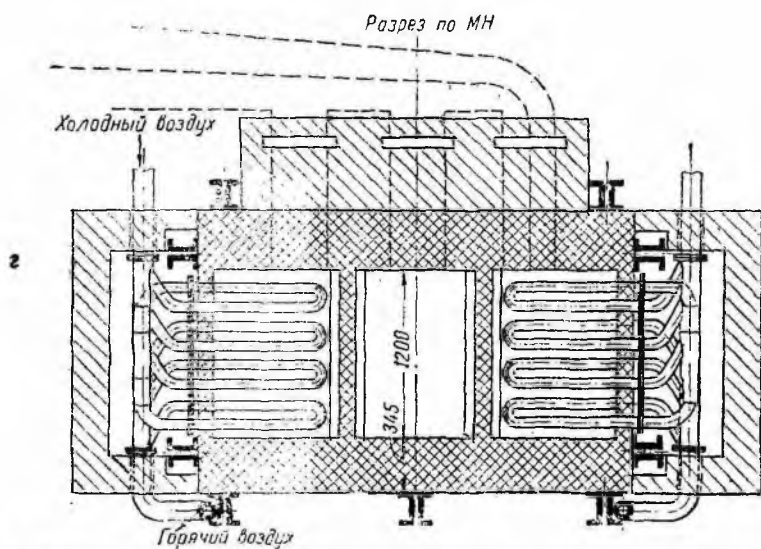
Фиг. 50. Двухкамерная печь

- Условные обозначения
- Пенобетон
  - Галька
  - Легкобетон
  - Вентилируемый кирпич
  - Красный кирпич

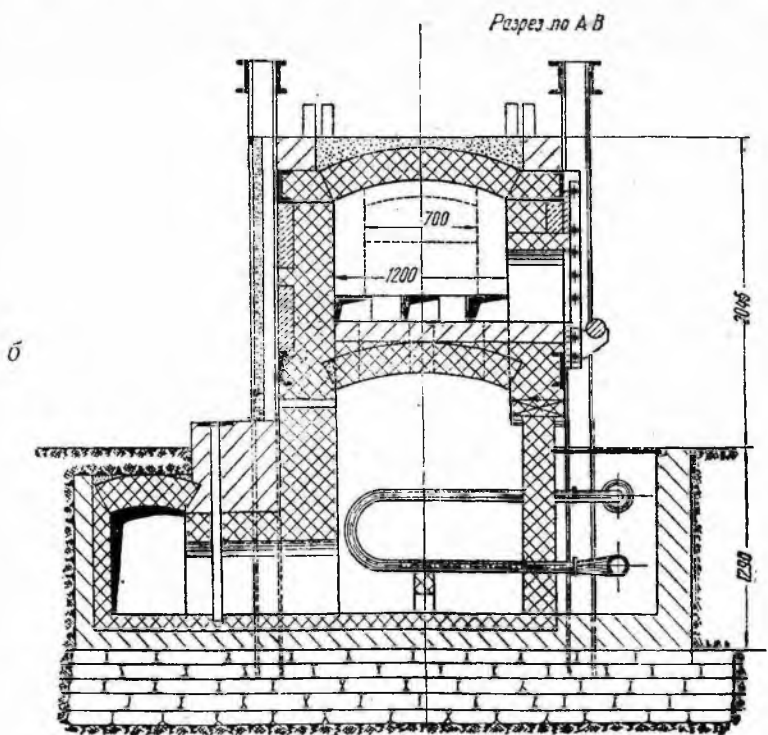
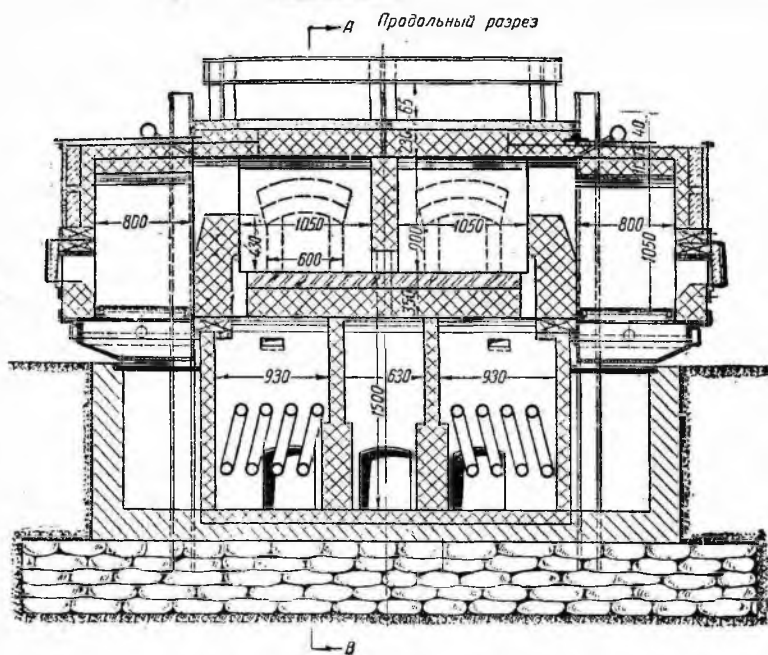
Разрез по CD



Разрез по MN



на жидком топливе



Фиг. 60. Двухкамерная печь на твердом топливе

Кроме того, применение двухкамерной печи обеспечивает более полное использование ковочного агрегата, так как значительно сокращает простои, связанные с ожиданием выдачи нагретых заготовок.

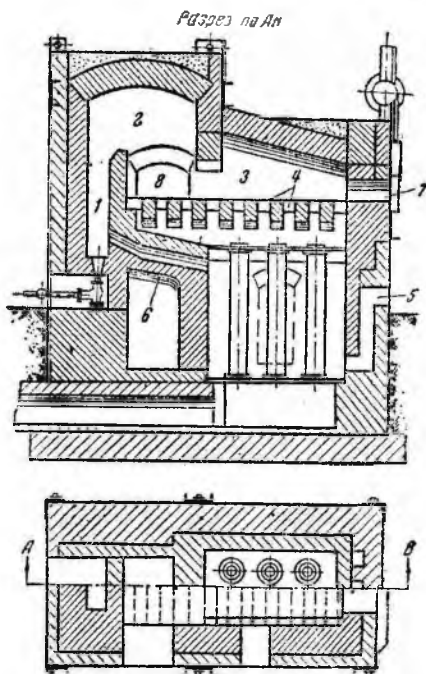
На фиг. 61 показана полуметодическая печь для нагрева некрупных заготовок под штамповку и ковку; она работает на мазуте. Распыливание мазута производится форсункой высокого давления, установленной наглухо, вертикально снизу форкамеры 1.

При подаче воздуха в форсунку высокого давления непосредственно из общей магистрали необходимо перед каждой форсункой устанавливать редуктор, обеспечивающий постоянное давление дутьевого воздуха, а отсюда и правильную работу форсунки.

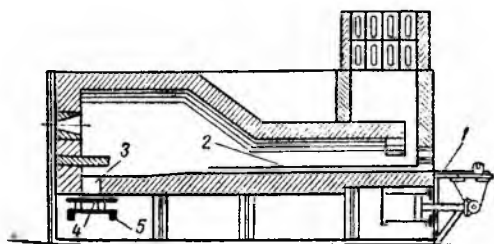
Работа этой печи протекает в следующем порядке.

Распылённое топливо сгорает в форкамере 1 и в верхней части рабочей камеры 2.

Пламя, отдав часть тепла металлу в камере 2, уходит в подогревательную камеру 3, откуда через газовые каналы 4 спускается в дымовую камеру и в трубы рекуператора 9 (типа Моргана)<sup>2</sup>. Холодный воздух поступает в рекуператор по каналу 5; здесь, обтекая горячие трубы рекуператора, по каналу 6 поступает в топку. Заготовки через рабочее окно 7 проталкиваются навстречу пламени, получая постепенный нагрев. Нагретые заготовки выдаются через окно 8.



Фиг. 61. Полуметодическая печь на жидком топливе



Фиг. 62. Полуметодическая печь с автоматической выдачей нагретых заготовок

На фиг. 62 представлена полуметодическая печь с автоматической выдачей нагретых заготовок<sup>3</sup>; она работает на мазуте.

<sup>1</sup> Проект ниж. Е. И. Липского.

<sup>2</sup> Практика показала нецелесообразность рекуператоров типа Моргана, см. стр. 111.

<sup>3</sup> Печь работает на автозаводе им. Сталина. ТЕХСО, серия 14, 878/32 и тезисы доклада Всесоюзного съезда ВНИТОКШ, вып. 1.





Заготовки в методических печах перемещаются обычно посредством толкателя<sup>1</sup>, но есть печи, в которых это производится посредством специальной движущейся балки, установленной в центральной части пода печи.

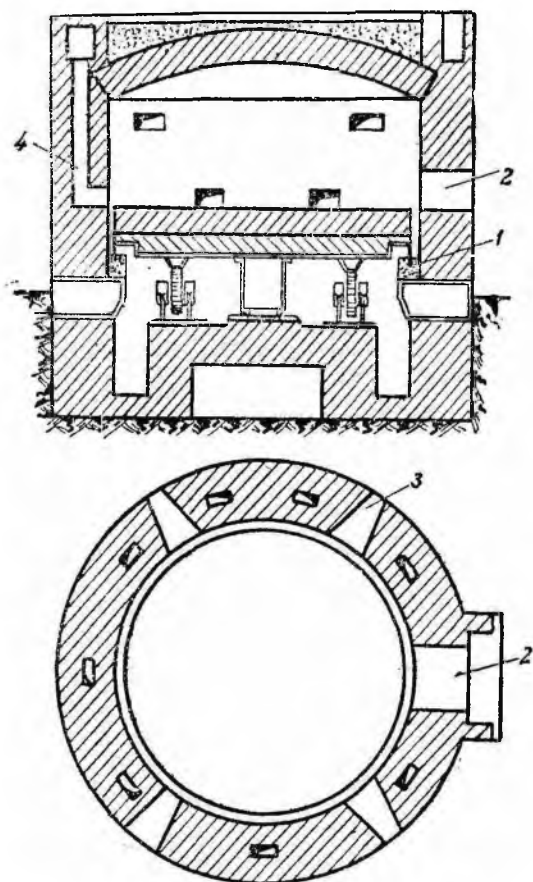
Такие механизированные печи носят название методических печей с шагающим балочным подом<sup>2</sup>.

Для нагрева заготовок, имеющих форму лепешек и короты-

шей, являющихся основными заготовками штамповальных кузниц молотового производства, целесообразно применять карусельные печи.

На фиг. 65 представлена одна из конструкций такой механизированной печи. Карусельная печь имеет вращающийся под; вращение пода производится специальным механизмом.

Возможность пробивания газов из печи или, наоборот, засасывания холодного воздуха в неё через зазор между подом и стенками устраняется песочным затвором 1. Печь обычно имеет два рабочих окна 2, расположенных рядом; одно из них служит для посадки заготовок, другое — для выдачи. Горелки или форсунки 3 для подачи топлива устанавливаются в верхней части печи, продукты сгорания отводятся снизу, по каналам 4. Такие печи могут с успехом применяться для нагрева заготовок при массовом производстве однотипных или сходных деталей небольшо-



Фиг. 65. Карусельная печь

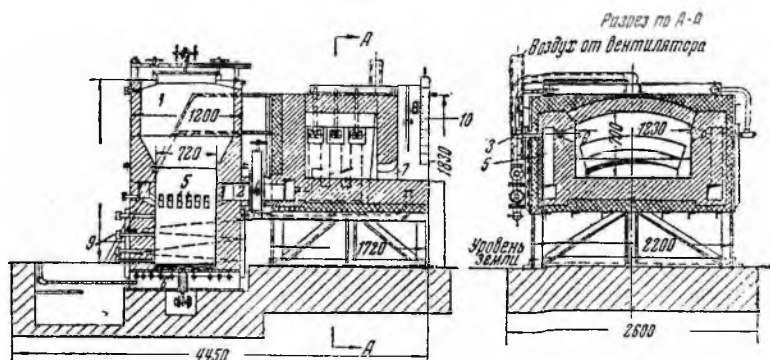
гого размера. Форма заготовок должна быть такой, чтобы при вращении пода они не перемещались произвольно (не перекатывались). Регулируя скорость вращения пода и расход топлива, можно создать желаемый режим нагрева металла.

<sup>1</sup> См. фиг. 118.

<sup>2</sup> Подробно об этих конструкциях см. Триякс, Промышленные печи; В. А. Куроедов, Печи для нагрева металла, Машгиз, 1941; Глишко \* Кузнечные и прокатные печи.



На фиг. 66 показана печь с индивидуальным газогенератором. Газ из газогенератора 1 поступает в газосборник 2, отсюда горячий газ с температурой 600—750° проходит в канал 4, затем через вертикальные каналы 5 к горелкам 6. Продукты горения отводятся из печи через рабочее окно 7, по каналу 8 под зонт. Первичный воздух подогревается, проходя по змеевику 9, в кожухе газогенератора. Вторичный воздух подогревается до



Фиг. 66. Печь с индивидуальным газогенератором

температуры 150—200° в рекуператоре 10, замещающем собой переднюю стенку печи.

Рассмотренная установка по ряду причин не получила широкого применения. В большинстве случаев работы на твёрдом топливе, когда не представляется возможности постройки газогенераторной станции, следует отдавать предпочтение печам с полугазовыми топками.

## 5. Большие печи

Большие печи в кузнечном производстве применяют для нагрева главным образом крупных слитков, весом более 1 т. Нагрев крупных слитков, особенно специальных сталей, необходимо вести крайне осторожно, обеспечивая постепенное равномерное нагревание. Быстрый нагрев не только увеличит имеющиеся в слитках пороки, но и может быть причиной возникновения новых трещин. Если слитки поступают в цех холодными, то их нагрев предпочитают вести вместе с печью, для чего посадку слитков производят в холодную печь. Слитки весом более 10 т обычно сажают в печь ещё не остывшими после отливки.

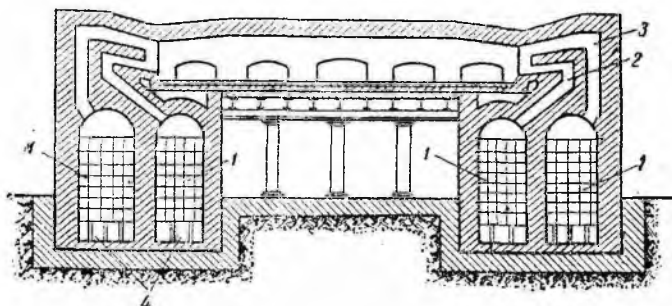
Большие кузнечные печи делаются камерные с неподвижным подом, камерные с выдвижной тележкой и методические с толкателем, последние конструктивно одинаковы с средними методическими печами.

На фиг. 67 изображена одна из больших печей — газовая регенеративная печь Сименса. С обеих сторон печи расположены

<sup>1</sup> Конструкция А. В. Лебедева, Калининский вагопостроительный завод.

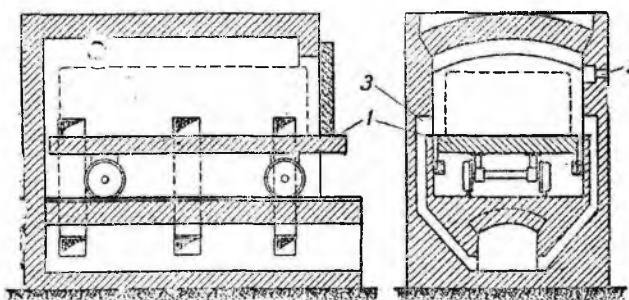
регенераторы 1, т. е. устройства для подогрева воздуха и газа, поступающего в печь.

Регенераторы представляют собой прямоугольные камеры с насадкой из огнеупорного кирпича, уложенного рядами с промежутками. Печь имеет по два регенератора с каждой стороны — один для нагрева воздуха, другой для нагрева газа. Печь работает одной стороной, например правой; при этом необходимые



Фиг. 67. Регенеративная печь Сименса

для горения газ и воздух проходят через раскалённую насадку правых регенераторов, нагреваются и поступают в печь по каналам 2 и 3. В это время продукты горения поступают в левые регенераторы, нагревают их насадку и по дымоходу 4 уходят в трубу. Через известный промежуток времени (20—30 мин.), когда правые регенераторы охлаждаются, а левые достаточно нагреваются,



Фиг. 68. Печь с выдвижным подом на газообразном топливе

делают «обращение пламени» (переключение), после чего печь работает одной левой стороной. При работе печей Сименса на мазуте устанавливают по одному регенератору с каждой стороны только для подогрева воздуха.

На фиг. 68 изображена печь с выдвижным подом; такие печи применяются для нагрева крупных слитков, а также для отжига поковок. Под печи представляет собой тележку 1, которая по рельсам может выкатываться из печи. Горелки 2 устанавливаются в верхней части рабочей камеры; продукты горения отводятся в дымоход по каналам 3. Выдвижной под делает удобными посадку и выдачу поковок или слитков.

## ПОСТРОЙКА И РЕМОНТ ПЕЧЕЙ

## 1. Материалы

Наблюдая за работой кузнечной печи, нетрудно сделать вывод, что печь работает в крайне тяжёлых условиях: с одной стороны, она подвергается действию высоких температур, достигающих до  $1300^{\circ}$  и выше, с другой — резкому колебанию температур (быстрое понижение и повышение). Это колебание температур происходит при загрузке новых холодных партий заготовок, при остановке печи на обеденный перерыв, ремонты и пр. При таких условиях материал для изготовления печей должен быть огнеупорным, прочным и малотеплопроводным и должен хорошо переносить резкие колебания температур в печи, не давая трещин. Из огнеупорных материалов на постройку нагревательных печей употребляются: кирпич — шамотовый, диасовый, магнезитовый, тальковый; огнеупорная глина и шамот.

*Шамотовый кирпич.* Самым распространённым кирпичом для кладки стен кузнечных печей является шамотовый кирпич: он готовится из огнеупорной глины, которую предварительно обжигают и размалывают, превращая в так называемый шамот. Обычно берут две части шамота и одну часть свежей глины, хорошо смешивают и из смеси формуют кирпичи, которые затем сушат и обжигают.

По огнеупорности шамотовый кирпич разделяется на 4 класса (сорта), причём каждому классу соответствует определённая температура плавления кирпича: А —  $1750^{\circ}$ , Б —  $1710^{\circ}$ , В —  $1670^{\circ}$  и Г —  $1580^{\circ}$ . Кирпич должен быть не только огнеупорен, но и прочен. При высокой температуре прочность кирпича падает. Так, например, шамотовый кирпич начинает размягчаться при температуре  $1300\text{—}1400^{\circ}$ ; температура размягчения тем ниже, чем больше давление на кирпич. Поэтому под огнеупорностью практически и понимают температуру размягчения кирпича.

Из лучших сортов кирпича выкладывают своды и стенки топки, а также своды рабочей камеры; другие сорта идут на стенки рабочей камеры, под и пр. Ценным качеством шамотового кирпича является его большая стойкость в отношении колебаний температуры. Это и является одной из причин широкого применения шамотового кирпича для постройки нагревательных печей. Однако и при таких условиях следует избегать резкого колебания температур как при разогреве печи, так и при охлаждении её. Недостатком шамотового кирпича является разъедание его железной окалиной. Поэтому необходимо тщательно следить за своевременным удалением с пода окалины и шлака (не менее одного раза в смену).

*Диасовый кирпич.* Диасовый кирпич для кузнечных печей применяется редко; в отдельных случаях — для кладки стен сварочных печей и топок. Изготавливается он из кварца путём его об-

жига при температуре 1450°. Этот кирпич огнеупорнее шамотового; имея температуру плавления такую же, как и шамотовый кирпич (около 1700°), динасовый кирпич начинает размягчаться лишь при температуре, близкой к плавлению. Чувствительность его к колебанию температуры выше, чем у шамотового кирпича; этим объясняется, что при быстром охлаждении и нагревании печи динасовый кирпич даёт трещины. Поэтому, если даже отдельные части печи выложены из динасового кирпича, разогрев и охлаждение такой печи необходимо производить постепенно (особенно в пределах температур 200—600°). Динасовый кирпич, как и шамотовый, делится на классы А, Б, В и Г. Лучшим кирпичом практически бывает наиболее лёгкий.

*Магнезитовый и хромистый кирпич.* Магнезитовый кирпич приготавливают из обожжённого магнезитового шпата — магнезита. Температура плавления его достигает 2000°. Этот кирпич легко трескается при быстрых переменах температуры, а потому нагрев и охлаждение печей с магнезитовой кладкой следует производить особенно медленно. Разрушающему действию железной окалины магнезитовый кирпич поддаётся с трудом, и потому, если бы не препятствовала его высокая стоимость, он мог бы получить широкое применение для выкладки пода нагревательных печей. Магнезит действует разрушающе на шамот; поэтому при выкладке магнезитового пода необходимо магнезитовые кирпичи отделять от шамотовых нейтральным материалом, т. е. таким, который не оказывает разрушающего действия ни на магнезит, ни на шамот. Одним из таких материалов является хромистый кирпич.

Хромистый кирпич изготавливается из измельчённой хромистой руды; он не поддаётся разрушающему действию железной окалины.

*Тальковый кирпич.* Огнеупорность талькового кирпича — около 1600°, размягчение наступает при температуре 1350°. Этот кирпич выпиливают из естественного талькового камня и затем подвергают обжигу. Применяется тальковый кирпич для выкладки пода нагревательных печей; выложенный из него под не поддаётся разрушающему действию железной окалины.

*Изоляционные материалы.* Применение изоляционных материалов для стенок нагревательных печей до сих пор развито мало. Между тем, польза от изоляции стенок печей во многих случаях очевидна. Это мероприятие уменьшает: тепловые потери печи (сокращает расход топлива), тепловые влияния на работающих<sup>1</sup>, газопроницаемость стенок печи и даёт возможность содержать печь внешне в хорошем виде (фиг. 69). В качестве изоляционного материала применяют: асбест, шлаковую и зольную засыпку, пенобетон, трепеловый кирпич, специальный огнеупорный легковес и др. В каждом случае этот вопрос решается в зависимости от местных условий.

Огнеупорные легковесы должны получить широкое применение для кладки нагревательных печей и в отдельных случаях могут

<sup>1</sup> Об этом подробнее сказано в главе XI.

целиком заменить обычные огнеупоры. Что же касается применения огнеупорного легковеса для внешнего слоя печной кладки, то это безусловно целесообразно для всех печей заводов машиностроительной промышленности.

Применение легковеса способствует не только уменьшению потерь тепла кладкой наружу при установившейся работе печей, но и уменьшает<sup>2</sup>:

- 1) потери от охлаждения и на разогрев кладки в 2—4 раза;
- 2) время на разогрев печи в 2—5 раз.

Это особенно важно для печей, работающих периодически, т. е. с частыми перерывами.

К недостаткам легковесов следует отнести: значительную истираемость, недостаточную шлакоустойчивость, высокую газопроницаемость и чувствительность к сотрясениям.

Борьба с указанными недостатками может успешно вестись при помощи специальных защитных огнеупорных обмазок.

Огнеупорные растворы кладок. Основное назначение огнеупорных растворов — заполнять неизбежно образующиеся в кладке неплотности, т. е. швы.

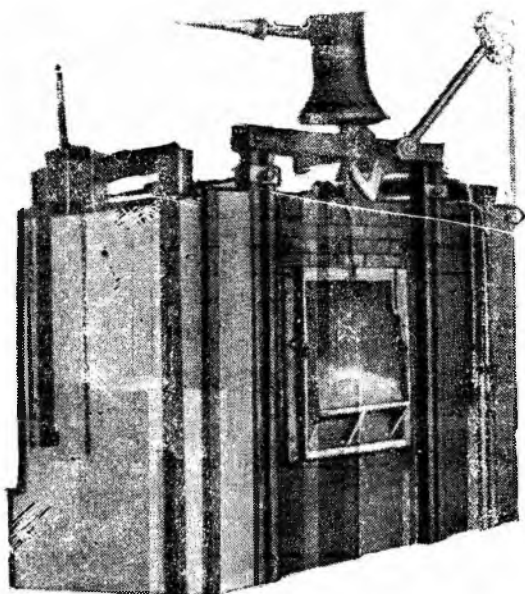
Для сохранения качества кладки употребляемые для неё растворы по своим свойствам и составу должны быть одинаковы с огнеупорным кирпичом или приближаться к нему.

Для приготовления огнеупорных растворов применяют следующие материалы:

1. Шамотный порошок (шамот); готовится посредством размолв из обожжённой огнеупорной глины или из боя шамотного кирпича; крупность помола 0,3—3 мм
2. Динасовый порошок; готовится из обожжённой динасовой массы или из боя динасового кирпича; крупность помола 0,3—3 мм.
3. Строительный песок; по возможности чистый с крупностью зрна до 3 мм.

<sup>1</sup> Для печей с невысокими температурами и для печей, в которых кладка подвергается значительным механическим воздействиям (истиранию и ударам).

<sup>2</sup> З. Э. Орловский. Изоляция промышленных печей, ВНИТОЭ, 1940.



Фиг. 69. Печь с внешней теплоизоляцией из пенобетона

4. Огнеупорная глина необожжённая; она должна быть пластичной, чтобы придать раствору смазывающие свойства.

В табл. 18 приводится характеристика различных растворов

Таблица 18

Характеристика растворов<sup>1</sup>

Наименование и назначение раствора	Состав к объему в %	Расход воды на 1 м сухой сме.
Густой шамотный раствор для бутовой шамотной кладки. Крупность помола до 3 мм	Огнеупорной глины . . . 30 Кварцевого песка . . . 70	400
Полугустой шамотный раствор для обыкновенной шамотной кладки. Крупность помола до 2 мм	Огнеупорной глины . . . 30 Шамота . . . . . 40 Кварцевого песка . . . 30	500
Жидкий шамотный раствор для тщательной кладки. Крупность помола до 1 мм	Огнеупорной глины . . 25—30 Шамота . . . . . 70—75	600
Полугустой диңасовый раствор для обыкновенной диңасовой кладки. Крупность помола до 2 мм	Огнеупорной глины . . . 15 Кварцевого песка . . . 85	500
Жидкий диңасовый раствор для тщательной диңасовой кладки. (Крупность помола до 1 мм)	Огнеупорной глины . . . 15 Диңасового порошка . . 85	600

Прочие материалы. Кроме рассмотренных материалов для постройки печей применяется красный кирпич, который идёт на внешнюю кладку, фундамент и пр.

Печная арматура (рамы, заслонки и др.) отливаются из обыкновенного или жароупорного чугуна.

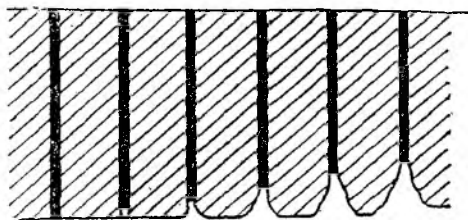
Для каркаса печи и других частей применяют листовое и прокатное железо, уголки, швеллеры и т. д.

## 2. Кладка печей

Для кладки пода у печей, работающих при температуре выше 1100°, необходимо применять тальковый или другие кирпичи, трудно поддающиеся разрушающему действию окислы. Стенки печи выкладываются или целиком из огнеупорного кирпича, с обмуровкой из красного кирпича, или огнеупорного легковеса. В первом случае стенки выкладываются толщиной в 1½—2 кирпича (фиг. 57), во втором — толщиной в 1—1½ огнеупорного кирпича, не считая ½—1 красного кирпича или огнеупорного легковеса на обмуровку (фиг. 59 и 61). Своды обычно выкладываются толщиной в кирпич с засыпкой поверху золой или шлаком.

<sup>1</sup> Н. Н. Зайцев, Кладка металлургических печей.

**Способ кладки.** Для долговечности кладки большое значение имеет тщательная укладка кирпичей и толщина швов. Можно сказать, что долговечность кладки определяется долговечностью швов. Связывающее свойство растворов кладки крайне невелико и, как нам известно, главное назначение растворов — заполнить щелотности между отдельными кирпичами. Следовательно, чем больше толщина шва, тем легче выкрошивается из него раствор. По мере выкрошивания раствора из шва обнажаются углы кирпича (фиг. 70), которые подвергаются нагреву с двух или трех сторон. Это приводит к быстрому оплавлению или откалыванию углов, т. е. разрушению кладки, особенно если температура печи 1300—1350°. Толщина швов не должна превышать 2—3 мм. Правильно кладка производится так: кирпич соответствующими поверхностями опускают в жидкий раствор, после чего плотно укладывают на место; выдавленный при этом избыток раствора не снимают, а размазывают на поверхности кладки.



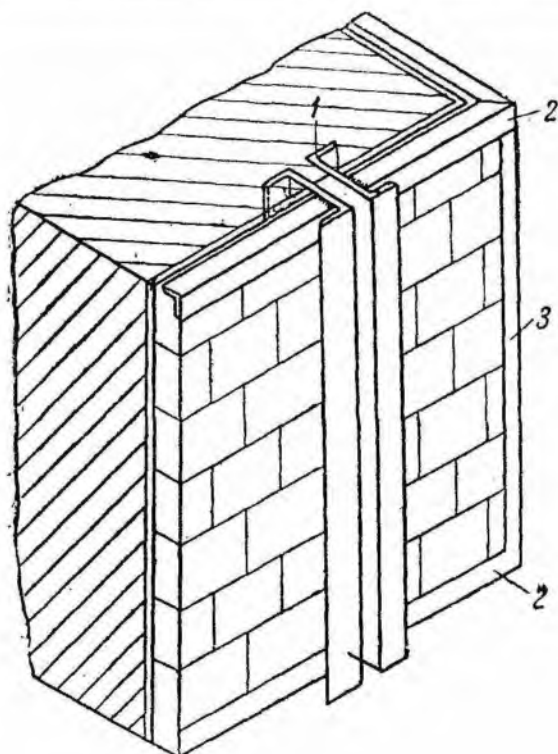
Фиг. 70. Раскрытие швов кладки в результате выкрошивания растворов

В местах, подверженных действию высокой температуры и давлению от нагрузки, рекомендуется подбирать кирпич по размерам и притирать один к другому сухие кирпичи или применять тугоплавкий печной цемент. Во всех случаях кладка стен ведётся вперевязь. Внешняя теплоизоляция (неогнеупорная, например из пенобетона) крепится к стойкам каркаса печи посредством угольников, образуя между поверхностью стенок и поверхностью изоляции воздушную прослойку (фиг. 71).

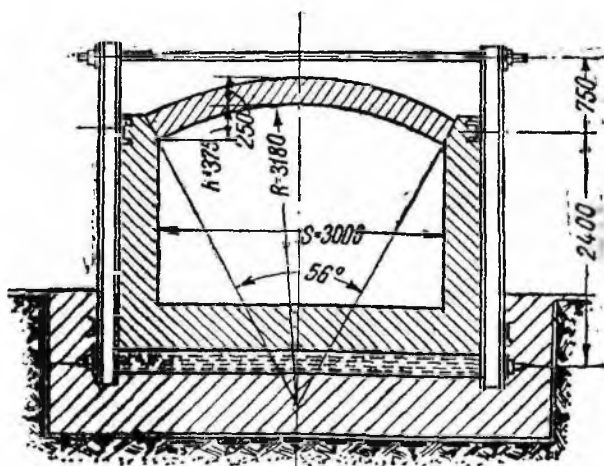
Для перекрытия кузнечных печей применяются преимущественно арочные своды. Величину радиуса кривизны  $R$  внутренней поверхности свода не следует брать меньше величин пролёта  $S$  (фиг. 72); при этом радиусе стрела вылета свода равняется  $\frac{1}{8}$  пролёта. Арочные своды кладутся из клинового кирпича или из обыкновенного, но с обязательной вставкой 5—6 клиньев, т. е. через несколько обыкновенных кирпичей кладут клиновые с таким расчётом, чтобы выдержать правильную форму свода и одинаковую толщину швов по его высоте. Только при этих условиях можно рассчитывать на прочность и долговечность свода. Для прочности кладку печи скрепляют каркасом из железных балок и стяжных болтов.

**Рабочее окно.** Рабочее окно печи закрывается посредством заслонки, она должна быть лёгкой, прочной и не коробиться под действием жара. Следовательно, конструкция заслонок, а также качеству их изготовления и монтажа должно уделяться большое внимание.

Заслонки чаще всего изготавливаются литыми чугунными (фиг. 73) и со стороны огня футеруются огнеупорным материа-

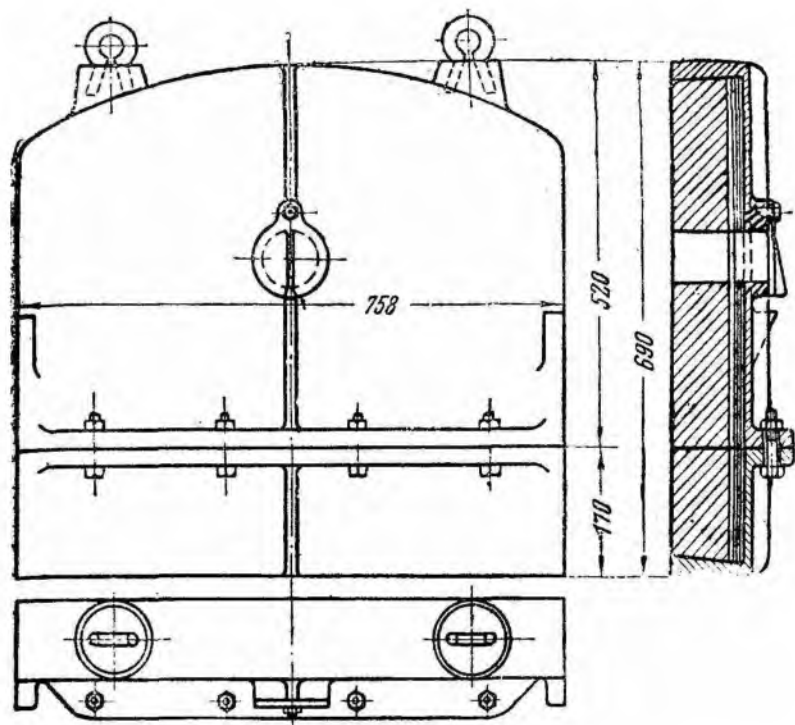


Фиг. 71. Крепление внешней теплоизоляции



Фиг. 72. Кривизна свода печи



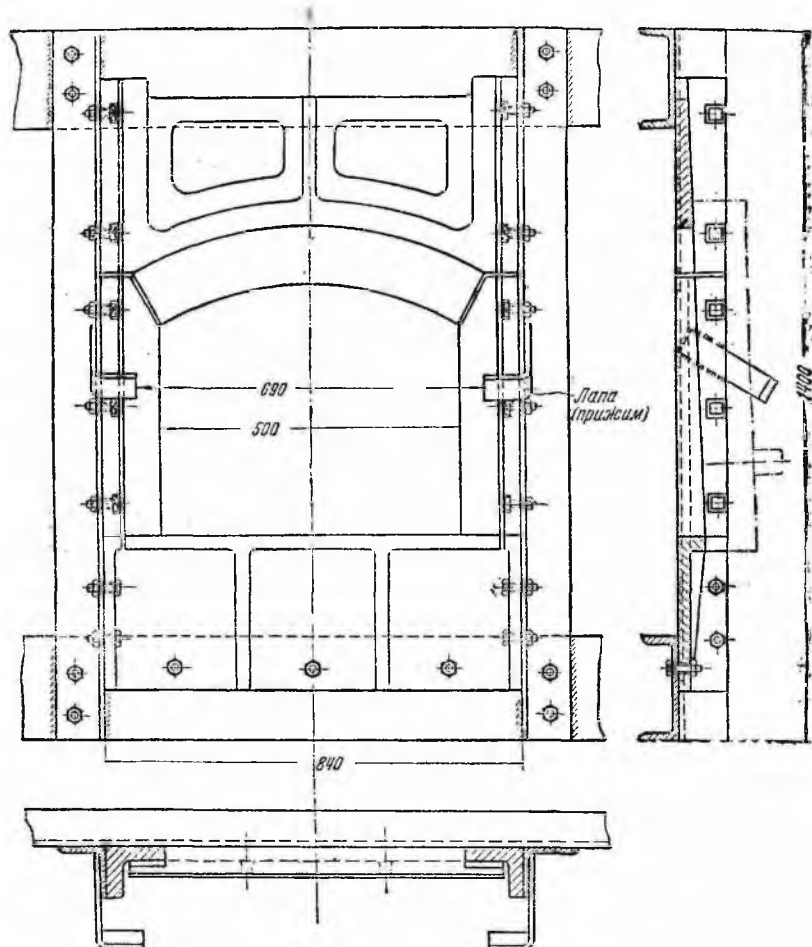


Фиг. 73. Заслонка рабочего окна

лом. Низ заслонки обычно быстро обгорает, и чтобы из-за этого не выбрасывать всей заслонки, нижнюю часть её делают отъемной. Такие заслонки при внимательном уходе и своевременном исправлении футеровки служат долго.

Заслонка должна плотно закрывать рабочее окно; для этого в окне устанавливается чугунная рама (фиг. 74). Рама рабочего окна отливается или цельной (небольшие окна) или, лучше, составляется из отдельно литых частей: верхнего наличника, боковых наличников, и внизу рама заканчивается порогом. Эти части посредством болтов и угольников крепятся к балкам каркаса печи.

Для более плотного прилегания заслонки к раме последнюю отливают наклонной. Кроме того, следует делать клиновой прижим, для этого заслонка отливается с клинообразными приливами (фиг. 73). При закрывании окна заслонка отпускается вниз и приливами садится на лапы (прижимы), укрепленные к раме, т. е. прижимается к раме (фиг. 74). Следует помнить, что плотное прилегание получается только тогда, когда порог рамы установлен в одной плоскости с боковыми наличниками, т. е. когда заслонка перекрывает порог (фиг. 73). При широком выступающем вперед пороге заслонка будет на него садиться и прижимы не будут работать.

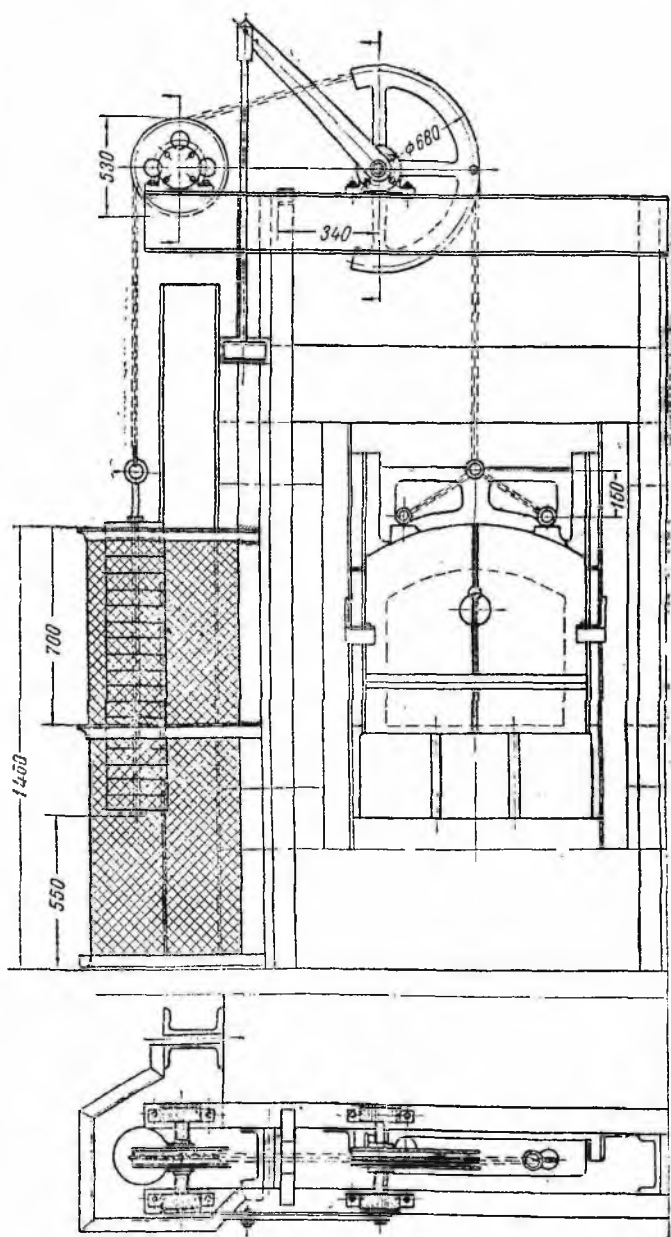


Фиг. 74. Рама рабочего окна

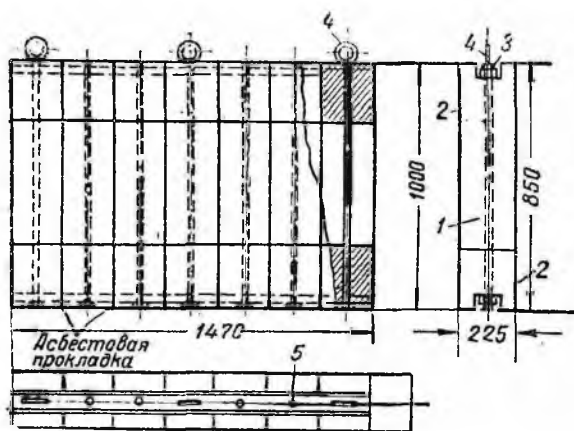
Плотность закрытия рабочего окна в значительной степени зависит от того, насколько правильно подвешена заслонка. Необходимо, чтобы точка подвеса заслонки находилась на оси окна; при этом цепь должна двигаться параллельно плоскости заслонки, а сама заслонка должна скользить по раме окна. На фиг. 75 показан способ подвешивания заслонки и её подъёмный механизм.

Футеровка заслонки рабочего окна делается или из шамотного кирпича или путём набивки огнеупорной массой, например такого состава (по весу):

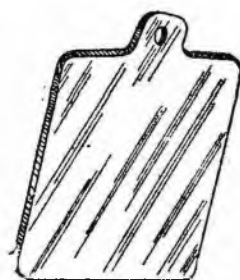
шамота вальцового или бегунного помола . . . . .	40%
пластичной спекающейся огнеупорной глины . . . . .	30%
трепела или асбестита . . . . .	10%
жидкого стекла (для лучшего спекания массы) . . . . .	8%
воды . . . . .	12—16%



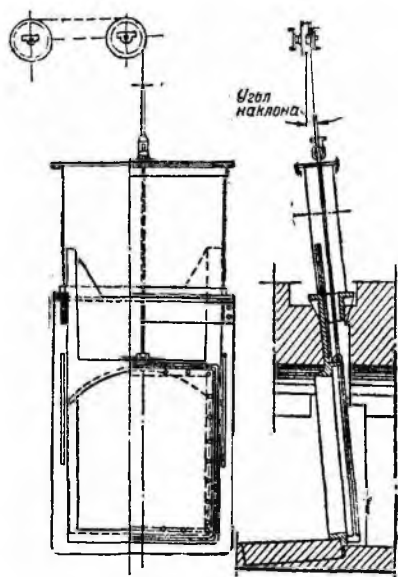
Фиг. 75. Подъемный механизм заслонки рабочего окна



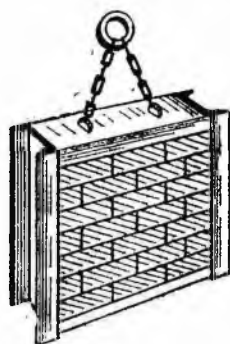
Фиг. 76. Шамотная заслонка рабочего окна



Фиг. 77. Чугунный шибер



Фиг. 78. Установка шибера



Фиг. 79. Огнеупорный шибер

До установки на печь заслонку следует просушить в течение 3—4 суток и замазать трещины усущи.

Для больших окон при высоких температурах применяются рамы и заслонки с водяным охлаждением. В отдельных случаях делают заслонки из шамотных брусков, скрепляя их посредством специальных болтов и планок (фиг. 76).

**Шибера.** Шибера при температуре дыма не выше  $800^{\circ}$  можно ставить литые — чугунные (фиг. 77) или стальные.

<sup>1</sup> М. Л. Шабли. Печки для нагрева металла, Машгиз, 1941.

Чтобы тяга облегчала плотное закрывание шиберов, надо устанавливать его с наклоном в сторону дымовой трубы не менее 10° (фиг. 78). При более высоких температурах в дымоходах следует применять шиберы из огнеупорного материала с соответствующими металлическими скреплениями (фиг. 79) или с водяным охлаждением<sup>1</sup>.

### 3. Ремонт печей

**Срок службы.** Срок службы печей зависит не только от качества материала кладки и качества постройки печи, но в большой степени и от своевременности производимого ремонта и умелого обслуживания печи. Последнее всецело зависит от работников, обслуживающих печь, которые поэтому должны помнить, что, умело обслуживая печь, они не только сокращают количество ремонтов и тем самым количество необходимых резервных печей в цехе, но и экономят топливо. Действительно, чем больше ремонтов, тем больше требуется растопок печи, связанных с непроизводительным расходом топлива.

Своевременность ремонта печи имеет большое значение.

Нормально, кузнечная печь, в среднем, без большого ремонта работает 4 месяца; при этом, однако, необходимо 2—3 раза в месяц подправлять под, откосы рабочего окна, футеровку заслонки, прочищать газовые каналы в поду и пр., т. е. производить текущий ремонт.

Что же разрушается у печи быстрее всего?

Прежде всего у печи разрушаются: под, порог, отделяющий топку от рабочего пространства, свод над топкой, стенки топки и откосы рабочего окна. Понятно, что, допуская работу неисправной печи, мы превращаем её в пылающий костёр, пожирающий топливо, задымляющий цех и пр.

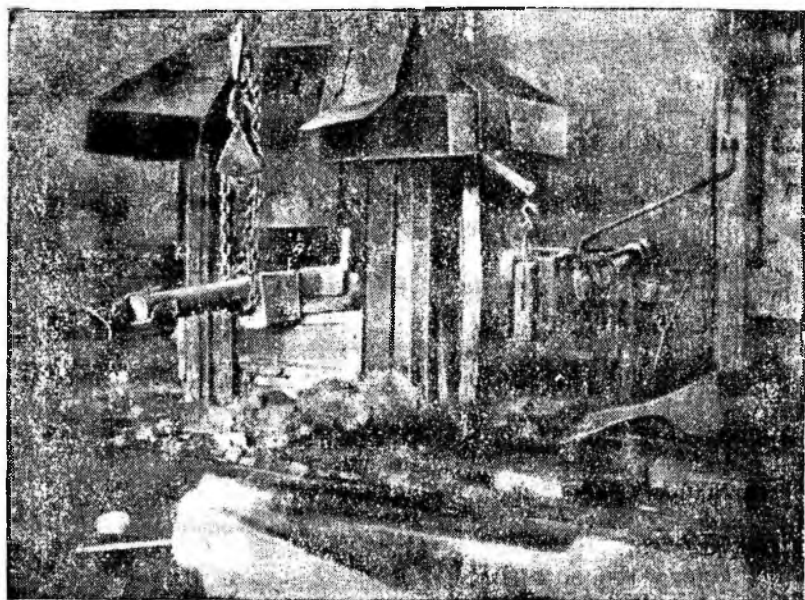
**Ремонт.** Ремонт печей, как и прочих заводских агрегатов, должен производиться по определённом плану, т. е. в определённые сроки. Для удобства ремонта цех должен иметь в запасе необходимые материалы: кирпич, шамот, глину и пр., а также комплекты той арматуры печи, которая чаще всего разрушается (пороги, заслонки, сопла форсунок, шиберы и пр.). Все недостатки в работе печи, переделки и характер производимого ремонта должны записываться в специальную карточку, которая должна быть заведена на каждую печь.

Внешнему виду печи также должно уделяться соответствующее внимание: все неисправности наружной кладки печи или изоляции должны немедленно исправляться. Кроме того, необходимо не реже раза в неделю производить побелку печи.

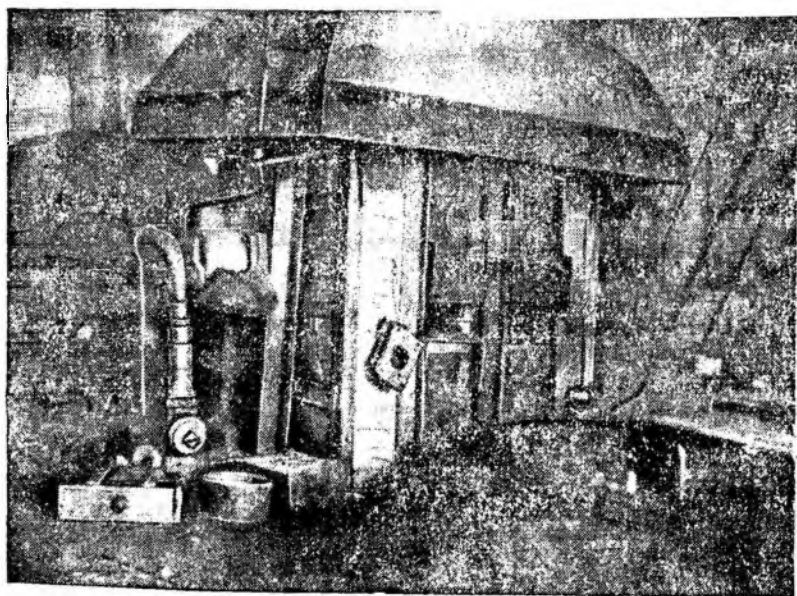
Выполнение всего указанного при опытном, строгом контроле несомненно, даст возможность поставить печное хозяйство цеха на должную высоту, обеспечить наибольшую производительность цеха при наименьшей стоимости продукции и придать цеху опрятный, культурный вид.

<sup>1</sup> Конструкция такого шиберов разработана Союзтеплостроем.

Отсутствие же правильного ухода за печами быстро приводит к их запущенности и разрушению (фиг. 80 и 81).



Фиг. 80. Пример запущенной печи



Фиг. 81. Пример запущенной печи

## УСТРОЙСТВА ДЛЯ СБЕРЕЖЕНИЯ ТОПЛИВА В ПЕЧАХ

## 1. Воздухонагреватели

Использование тепла отходящих газов. Печные газы покидают рабочую камеру печи при высокой температуре. Обычная температура газов, уходящих из кузнечной печи в дымовую трубу, равна  $1000-1100^{\circ}$ . Таким образом, газы уносят из печи большое количество тепла, в отдельных случаях превышающее 60% от общего количества тепла, даваемого топливом. Если не принять особых мер, то это тепло будет потеряно, и тем самым работа печи будет менее совершенна и экономична.

Мероприятия для использования тепла отходящих газов:

1. Устройство подогревательных камер у печей с периодической загрузкой металла. Такое устройство позволяет использовать тепло отходящих газов для предварительного подогрева металла. Очевидно, что наличие подогревательной камеры в методических печах способствует более полному использованию тепла. Действительно, температура отходящих газов методических печей равна  $400-600^{\circ}$ , что соответствует потере с отходящими газами 20—30% всего количества тепла.

2. Установка вблизи печи парового котла, к которому подводят газы от печи, понижая здесь их температуру до  $180-200^{\circ}$ . Эта мера использования тепла отходящих газов оправдывает себя только у больших печей, работающих непрерывно, т. е. имеющих постоянный газовый поток.

3. Оборудование печей воздухонагревателями, т. е. устройствами для предварительного подогрева воздуха, поступающего в печь, — регенераторами и рекуператорами. Воздухонагреватели, главным образом рекуператоры, получили большое применение в кузнечных печах.

Использование тепла отходящих газов<sup>1</sup> для предварительного подогрева воздуха не только уменьшает расход топлива, но и повышает температуру горения топлива в печи.

Это особенно важно при сжигании малоценного топлива, дающего невысокую температуру горения: в этом случае подогрев воздуха даёт возможность значительно улучшить теплоотдачу и повысить производительность печи. Экономия, получаемая в расходе топлива при подогреве воздуха, показана в табл. 19.

**Регенераторы.** При разборе конструкции печи Сименса (фиг. 67) мы установили принцип работы регенератора. Это устройство работает периодически: в него через определённые

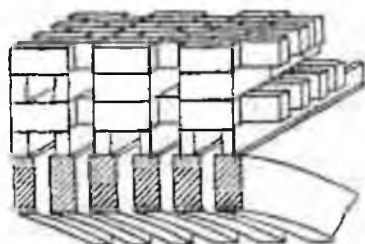
<sup>1</sup> Подробнее с данным вопросом можно ознакомиться по книгам: Де-Граль, Использование отбросной энергии; Бальке, Рационализация теплового хозяйства; И. М. Лемлек, Рекуператоры для нагревательных печей, и др.

промежутки времени (периоды) поочерёдно поступают или отходящие из печи газы, нагревающие его насадку, или воздух, который нагревается от насадки до температуры 700—900°. Регенератор состоит из двух или четырёх камер, заполненных кирпичной

Таблица 19  
Экономия топлива при подогреве воздуха

Температура воздуха в °С	Экономия топлива в %
200	8—14
400	17—26
600	24—35
800	30—43

насадкой (фиг. 82). Регенераторы стоят дорого и занимают довольно большое место, поэтому применение их оправдывается у больших печей, работающих непрерывно при сравнительно постоянном режиме. Если же печь работает с переменным режимом и перерывами, то экономия от регенераторов ничтожна или совсем отсутствует.



Фиг. 82. Насадка регенератора

*Рекуператоры.* В рекуператорах поток как отходящих газов, так и воздуха непрерывен. Газы нагревают стенки рекуператора, воздух же с другой стороны отнимает

тепло от стенок; таким образом, нагрев воздуха от газов происходит через разделяющую их стенку. В зависимости от температуры подогрева воздуха рекуператоры делают металлическими и керамическими; металлические (железные и чугунные) — для подогрева воздуха до температуры 300—400°; керамические (шамотные) — для подогрева воздуха до температуры 800—900°.

В последнее время для рекуператоров применяют специальные жароупорные стали и чугуны, обеспечивающие их прочность при высоких температурах; в таких рекуператорах подогрев воздуха достигает температуры 900°. Количество марок жароупорных сталей, применяемых для изготовления рекуператоров, велико; наиболее распространённые из них — хромоникелевые и хромистые стали. Из жароупорных чугунов применяют хромистый чугун.

Преимущества рекуператора перед генератором состоят в компактности, которая позволяет устанавливать металлический рекуператор не только под печью, но и над печью и в дымоходе, в лёгкости обслуживания (не надо переключать) и невысокой стоимости.

К недостаткам металлических рекуператоров можно отнести: недолговечность рекуператоров, изготовленных из обычной стали



или чугуна, а также высокую стоимость рекуператоров, изготовленных из жароупорных металлов.

Недостатками керамических рекуператоров являются их громоздкость и ослабление швов между отдельными кирпичами (секциями), в результате чего происходит смешение газов с воздухом и рекуператор выходит из строя.

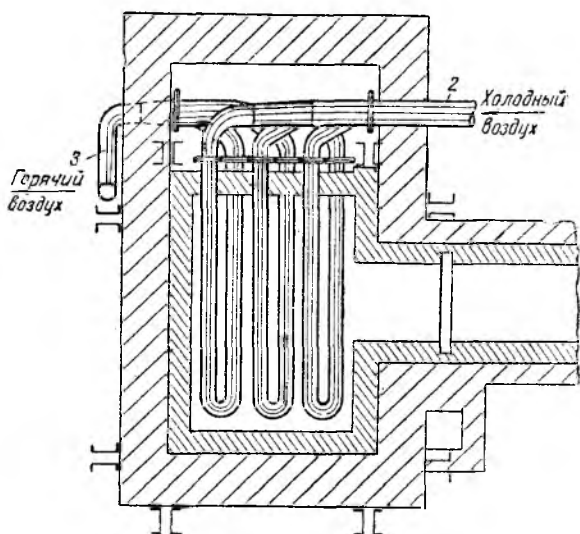
Конструкция рекуператоров. По конструкции металлические рекуператоры подразделяются на: трубчатые, ребристые, игольчатые и пластинчатые.

**Трубчатые рекуператоры.** Из трубчатых рекуператоров имел применение рекуператор Моргана. Он состоит из нескольких чугунных труб, установленных в дымовой камере печи (фиг. 61). Газы, проходя по трубам, нагревают их, холодный же воздух, поступая через отверстие 5, обтекает горячие трубы, нагревается и по каналу 6 уходит в топку.

Практика показала непригодность этого рекуператора вследствие быстрого прогара труб и большой утечки воздуха через неплотности; в большинстве случаев эти рекуператоры не работали. К тому же большая громоздкость рекуператора сильно удорожала конструкцию печи.

Трубчатый рекуператор, изображённый на фиг. 83<sup>1</sup>, устанавливается в дымовой камере печи (фиг. 56 и 59; он состоит из нескольких загнутых железных труб / диаметром 3", концы которых соединены двумя трубами, одна из них 2 подводит холодный воздух, другая 3 — собирает нагретый воздух. Воздух, проходя по трубам, нагревается до 200—250°. Рекуператор прост, недорог, долговечен, быстро и удобно ремонтируется (заменой прогоревшей трубы). Кроме того, прогоревшая труба может быть легко выключена установкой прокладок. Для предупреждения перегрева труб рекуператора в дымовой камере предусмотрены окна, через которые может засасываться холодный воздух из помещения цеха.

На фиг. 84 показана ещё одна из конструкций трубчатого рекуператора, установленного в дымоходе печи; он состоит так-



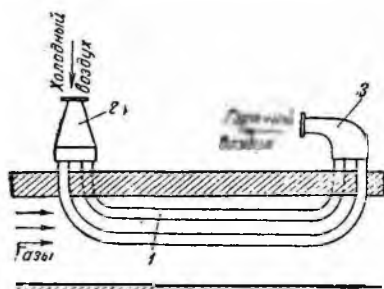
Фиг. 83. Трубчатый рекуператор

<sup>1</sup> Автор таким рекуператором оборудовал несколько печей на Пролетарском заводе в Ленинграде.

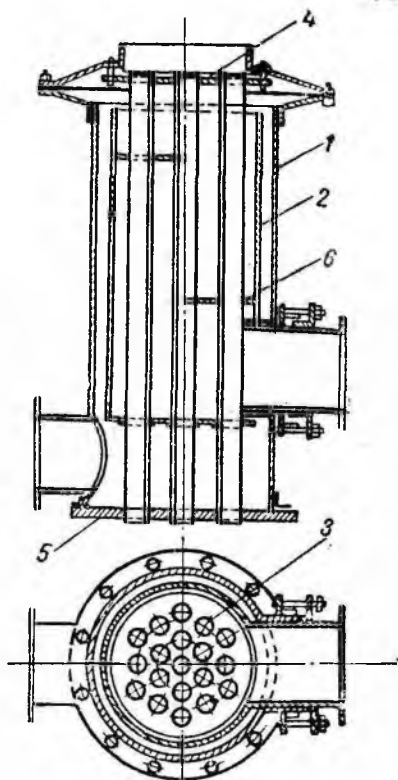
же из нескольких труб 1, концы которых загнуты вверх и соединены с коробками; одной из коробок, например 2, подводится холодный воздух, другая 3 — собирает нагретый воздух, который затем по воздухопроводу подводится к печи. Воздух подогревается в таком рекуператоре<sup>1</sup> до температуры 150—175°.

На фиг. 85 показан трубчатый рекуператор с вертикально расположенными трубами<sup>2</sup>. Этот рекуператор изготовлен из углеродистой стали, имеет два вставленные друг в друга цилиндра 1 и 2. Внутри цилиндра 2 помещён пучок труб 3 диаметром 2", концы которых приварены к днищам (решёткам) 4 и 5 цилиндров. Внутри рекуператора расположены две направляющие перегородки 6.

Горячие газы проходят по трубам рекуператора; холодный



Фиг. 84. Трубчатый рекуператор, установленный в дымоходе печи



Фиг. 85. Трубчатый рекуператор с вертикальными трубами

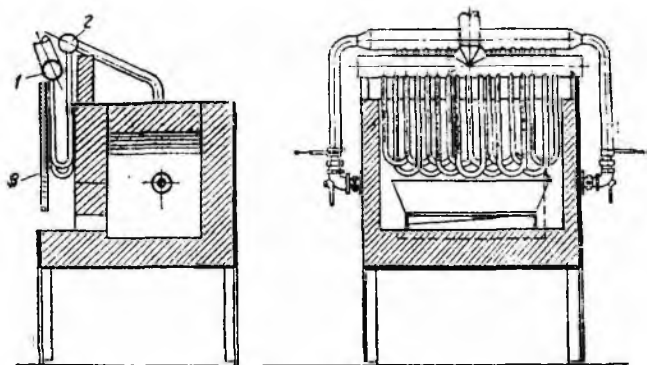
воздух, поступая в рекуператор через патрубок слева, омывает нижние концы труб и нижнюю решётку, т. е. места с наиболее высокой температурой, затем поднимается вверх между двумя цилиндрами, поступает во внутренний цилиндр, где направляемыми внутренними перегородками омывает трубы и выходит из рекуператора через патрубок справа.

Поверхность нагрева рекуператора около 6 м<sup>2</sup>; при расходе воздуха, равном 500 м<sup>3</sup>/час, температура его нагрева достигает 300°. К недостаткам этой конструкции следует отнести трудность замены прогоревших труб.

На фиг. 86 показан трубчатый рекуператор конструкции ЗИС. Он состоит из большого количества газовых труб диаметром 1—1,5", изогнутых в форме петли. Концы этих труб соединены

<sup>1</sup> Ленинградское отделение Энергочермет.

<sup>2</sup> Проф. Тайц и Ганусенко, «Сталь» № 4, 1940 г.



Фиг. 86. Трубчатый рекуператор

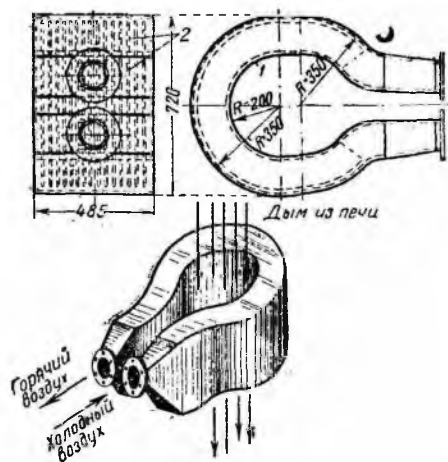
двумя трубами-коллекторами, в один из них 1 подводится холодный воздух, другой 2 — собирает нагретый воздух, из него воздух поступает к форсункам. Воздух, проходя по трубам, нагревается до  $250\text{--}300^\circ$ .

Рекуператор устанавливается между передней стенкой и фронтовым щитком (экраном) 3 печи. При данной конструкции, не превышая размера печи, удаётся расположить рекуператор с большой поверхностью нагрева. Например, у печи с площадью пода  $2,3\text{ м}^2$  устанавливают рекуператор с поверхностью нагрева  $6,0\text{ м}^2$ .

На неинтенсивно работающих печах такие рекуператоры стоят без ремонта свыше года.

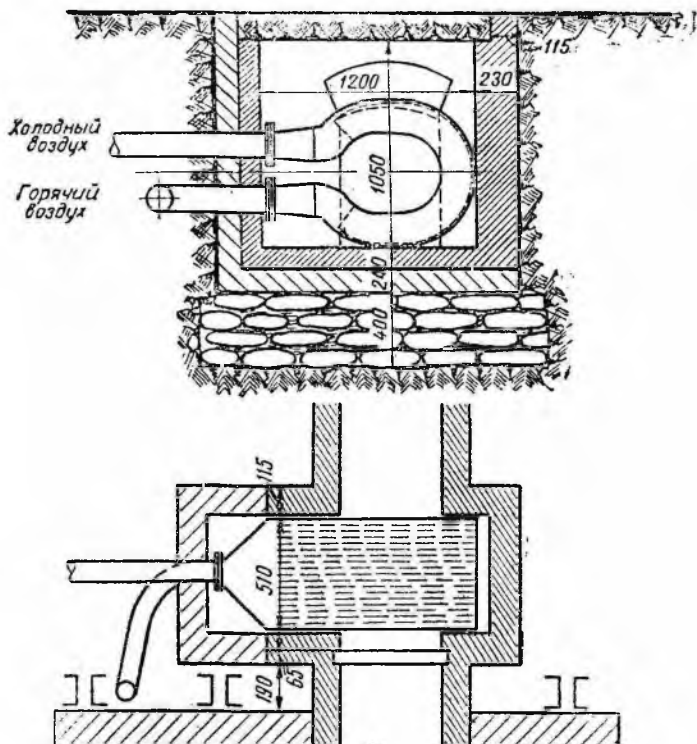
Ребристые рекуператоры. Ребристый рекуператор, изображённый на фиг. 87<sup>1</sup>, представляет собой металлический рукав, загнутый в форме петли; он изготовлен из листового железа толщиной 2—3 мм. К внутренней стенке рекуператора 1 приварены рёбра 2. Дым проходит через отверстие петли и нагревает внутреннюю стенку с рёбрами; холодный же воздух, проходя через рукав рекуператора, изогнутый на  $180^\circ$ , нагревается до температуры  $200\text{--}220^\circ$ .

При установке этого рекуператора в дымоходе печи (фиг. 88) холодный воздух следует подводить в верхнюю часть рекупера-



Фиг. 87. Ребристый рекуператор

<sup>1</sup> Конструкции автора. «Пролетарский завод» в Ленинграде.



Фиг. 88. Установка ребристого рекуператора в дымоходе

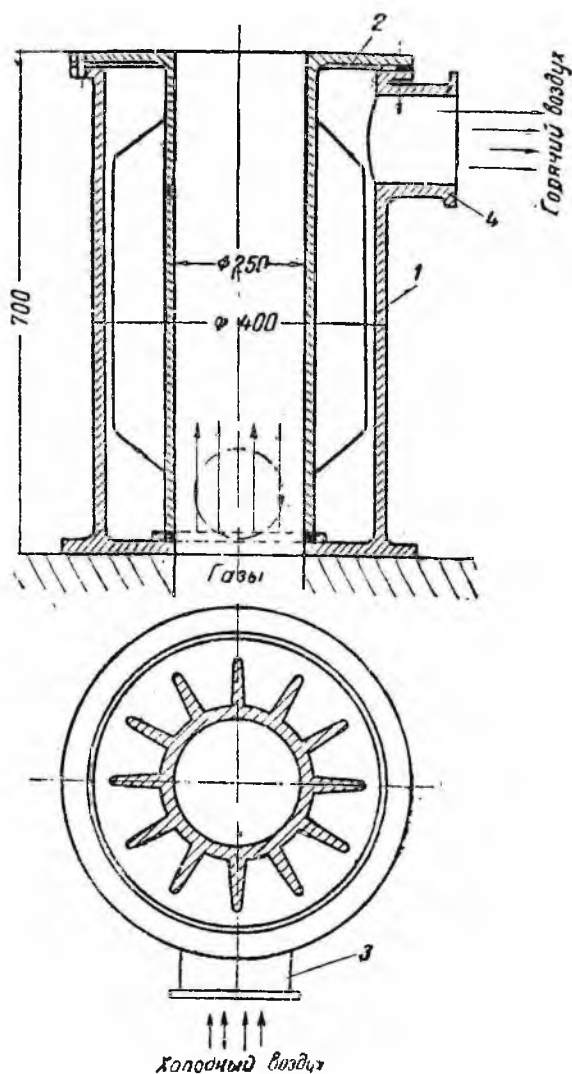
тора как более нагреваемую, и тем самым дольше сохранить рекуператор от прогара.

На фиг. 89 показан ребристый рекуператор для малых печей<sup>1</sup>. Он состоит из двух чугунных цилиндров 1 и 2; внутренний цилиндр 2 отлит с рёбрами. Газы, проходя через цилиндр 2, нагревают его стенки и рёбра. Холодный воздух поступает в рекуператор через патрубок 3, обтекает нижнюю часть цилиндра 2 — более нагреваемую — и затем поднимается вверх между рёбер и через патрубок 4 выходит из рекуператора. Нагрев воздуха в таком рекуператоре достигает 250°.

На фиг. 90 показан ребристый рекуператор<sup>2</sup>, состоящий из двух цилиндров 1 и 2. Снаружи внутреннего цилиндра по винтовой линии приварены 3-мм спиральные рёбра 3, образующие двухходовой винт. Дымовые газы проходят через внутренний цилиндр по направлению снизу вверх, а подогреваемый воздух — в том же направлении, между цилиндрами, по винтообразным каналам. Снаружи рекуператор изолирован слоем асбеста толщи-

<sup>1</sup> Конструкция автора и инж. В. Е. Харитонов, «Пролетарский завод» в Ленинграде.

<sup>2</sup> Конструкция бр. Лемлех, установлен на Ленинградском металлическом заводе им. Сталина, ТЭХСО, серия 8, № 2040.



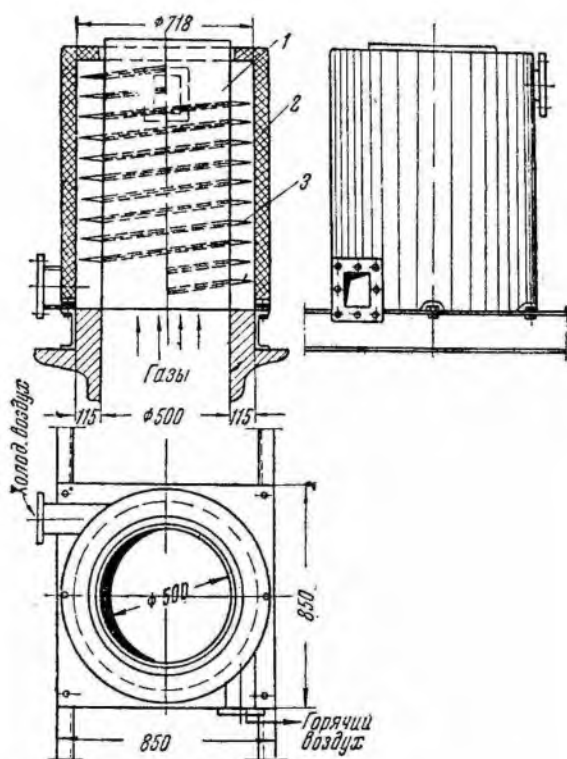
Фиг. 89. Вертикальный ребристый рекуператор

ной в 50 мм. Этот рекуператор предназначен для установки непосредственно на печи или на обводном бсрове.

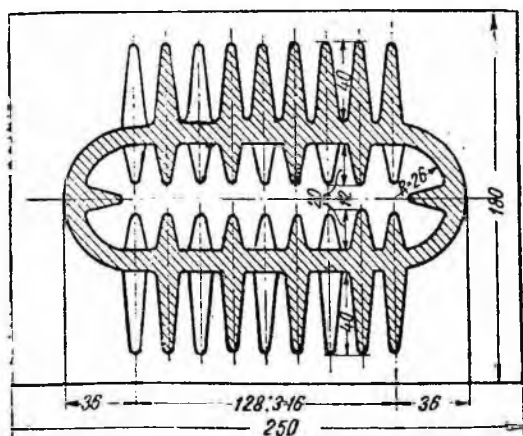
Подогрев воздуха в рекуператоре достигает  $200^{\circ}$ .

Игольчатые рекуператоры<sup>1</sup>. Игольчатые рекуператоры (фиг. 91) собираются из отдельных чугунных секций овальной формы, отлитых с иглами на поверхности. Такое устройство позволяет при малых размерах рекуператора иметь большую по-

<sup>1</sup> Игольчатые рекуператоры изготавливаются Кузнецким заводом Союзтепло-машин.



Фиг. 90. Ребристый рекуператор бр. Лемлах



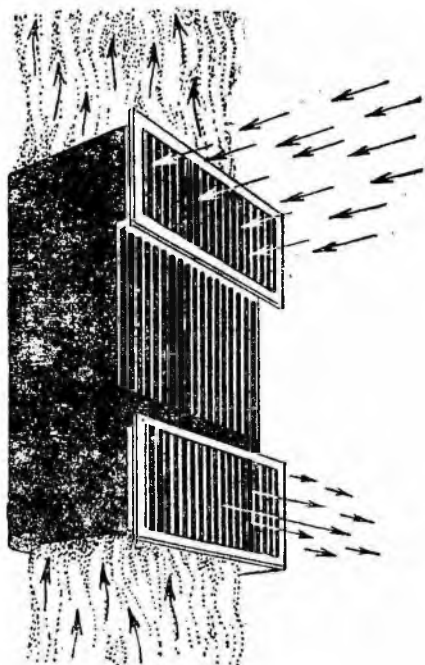
Фиг. 91. Секция игольчатого рекуператора

верхность нагрева и хорошую обтекаемость его воздухом. Благодаря этому достигается подогрев воздуха до  $300-350^{\circ}$  при достаточной стойкости рекуператора. Так, например, на ЗИС игольчатые рекуператоры работают без ремонта больше года.

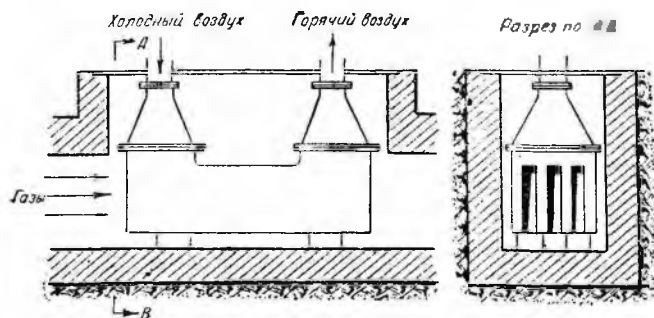
В среднем на 20 кг часового расхода мазута приходится 1 м<sup>2</sup> поверхности нагрева рекуператора (две секции).

На основании опыта ряда заводов<sup>1</sup> можно рекомендовать игольчатые рекуператоры для широкого внедрения.

Пластинчатые рекуператоры. Пластинчатый рекуператор (фиг. 92 и 93) представляет собой коробку, изготовленную из листового железа толщиной 2—4 мм. Внутри эта коробка разделена пластинами (перегородками) на ряд ячеек (каналов) шириной 15 мм, которые служат для прохода воздуха. Между воздушными ячейками образуются каналы шириной 30—50 мм для прохода дымовых газов. Узкие проходы необходимы для того, чтобы увеличить скорость движения воздуха в рекуператоре и тем самым повысить теплопередачу от нагретых пластин рекуператора к воздуху. В пластинчатом рекуператоре достигается подогрев воздуха до 300—350°, при этом на 3 кг сжигаемого мазута приходится 1 м<sup>3</sup> поверхности нагрева рекуператора. На фиг. 93 показана установка данного рекуператора в дымоходе печи.



Фиг. 92. Пластинчатый рекуператор

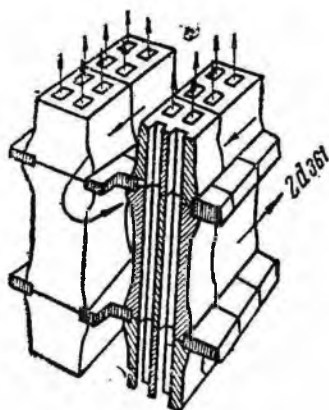


Фиг. 93. Установка пластинчатого рекуператора в дымоходе

Керамические рекуператоры. Керамические рекуператоры состояются из специально изготовленных огнеупорных

<sup>1</sup> Игольчатые рекуператоры установлены на Уралвагонзаводе, СТЗ, ЗИС, Шарикоподшипнике и др.

фасонных секций. На фиг. 94 показана секция такого рекуператора; форма секций может быть разнообразна. По внутренним каналам секций проходит воздух, с внешних же сторон секции обогреваются дымовыми газами. Такие рекуператоры устанавливаются в дымовых камерах.



Фиг. 94. Керамический рекуператор

При равных условиях керамические рекуператоры занимают объем в 9—10 раз больший, чем металлические. К указанному недостатку этих рекуператоров следует прибавить их высокую стоимость.

Необходимо помнить, что большое значение имеет изоляция воздухопроводов на участке после рекуператора до форсунок. Например, у одной из печей потеря температуры на одном участке составляла  $95^{\circ}$ . После тщательной

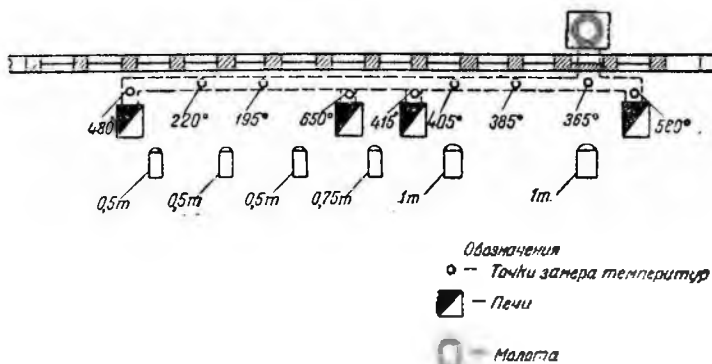
изоляции трубопроводов потерю температуры дутьевого воздуха удалось снизить до  $5-8^{\circ}$ .

## 2. Пути дальнейшего использования отбросного тепла печей

Использованием тепла отходящих газов в рекуператорах задача полного теплоиспользования отбросного тепла печей далеко ещё не решена.

Нередко газы покидают рекуператор с довольно высокой температурой ( $600-700^{\circ}$ ), т. е. со значительным теплосодержанием.

Практика работы нескольких рекуперативных печей, продукты горения от которых отводились в общий дымоход (фиг. 95), показывает, что температура газов в той части дымохода, которая



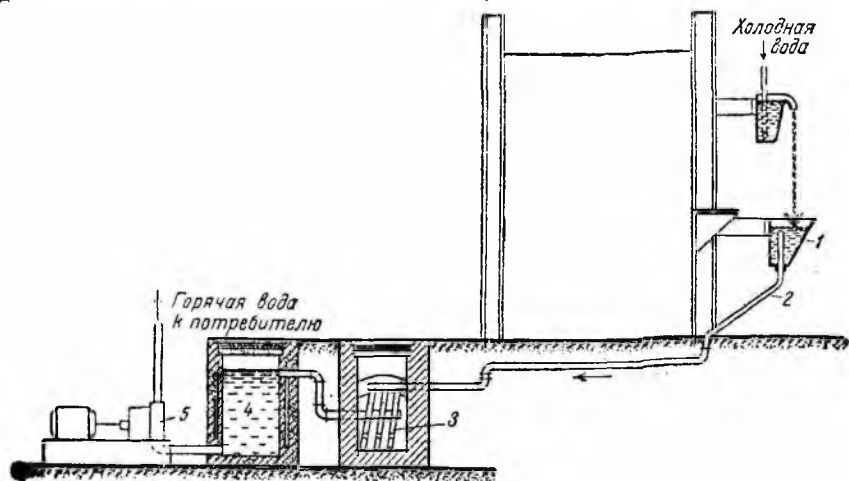
Фиг. 95. Температура в дымоходе печи



примыкает к печи, достигает  $500^{\circ}$  и выше<sup>1</sup>. Следовательно, возможно и необходимо дальнейшее использование тепла уходящих от печей газов в дымоходе после рекуператора.

Для этой цели могут быть рекомендованы простые водоподогреватели.

Водоподогреватель представляет собой пучок газовых труб диаметром 50 мм. Такой водоподогреватель устанавливается в



Фиг. 96. Установка для подогрева воды теплом отходящих газов

дымоходе; горячая вода из него может быть использована для котельных, отопления и для бытовых нужд (душевые и пр.).

На фиг. 96 показана схема одной из установок, в которой предусмотрено использование воды от водяной завесы<sup>2</sup> (ограждающей от теплоизлучения через рабочее окно печи) и тепла газов дымохода.

Здесь вода из приемного желоба 1 водяной завесы по трубе 2 поступает в водоподогреватель 3, который устанавливается в дымоходе печи. Из водоподогревателя горячая вода стекает в резервуар 4, откуда насосом 5 подается потребителю.

## Глава VIII

### ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА У ПЕЧЕЙ

#### 1. Подача топлива

Жидкое топливо благодаря своим преимуществам<sup>3</sup> до сих пор ещё является распространённым видом топлива для печей. Несмотря на это, способы хранения и подачи данного топлива

<sup>1</sup> Из работы, проводимой автором.

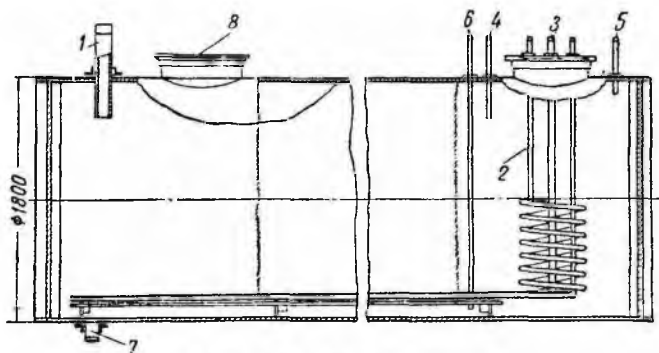
<sup>2</sup> О водяных завесах будет сказано в гл. XI.

<sup>3</sup> О преимуществах жидкого топлива см. гл. IV.

к печам далеко не находятся на должном техническом уровне. Поэтому мазут часто подаётся к форсункам печей не в достаточном количестве и с перерывами, особенно зимой и после выходных дней. Кроме того, мазут поступает в форсунки с значительным содержанием воды и песка. Это отрицательно сказывается на работе печей, понижает их производительность и срок службы, т. е. приводит к ряду потерь.

Следовательно, оборудованию, связанному с хранением и подачей мазута к печам, должно быть уделено самое серьёзное внимание.

**Нефтехранилище.** Основные требования к нефтехранилищу — достаточная ёмкость, обеспечивающая всегда некоторый запас нефтетоплива, возможность подогрева нефтетоплива и отстоя воды и песка из него; доступность для осмотра и чистки.



Фиг. 97. Нефтехранилище

Нефтехранилища целесообразнее устраивать подземными в целях безопасности от пожара и уменьшения потерь тепла.

На фиг. 97 показано одно из типовых нефтехранилищ ёмкостью 19 т мазута; оно представляет собой резервуар цилиндрической формы; в нём предусмотрены: труба 1 — для слива мазута, подогреватель 2, заборная трубка 3, обратный трубопровод 4, вытяжная труба 5, измеритель уровня 6, труба для спуска воды 7 и люк для чистки 8.

Подогреватель 2 представляет собой змеевик, в который пускают мятый пар. Мазут подогревается до температуры 40—50°.

Подогрев мазута ускоряет отстаивание воды и обеспечивает хорошую текучесть мазута по трубам к форсункам. Поверхность подогревателя для подземных нефтехранилищ составляет примерно  $\frac{1}{20}$  наружной поверхности нефтехранилища.<sup>1</sup>

Железное нефтехранилище или зарывают непосредственно в землю с таким расчётом, чтобы над ним оставался слой земли толщиной 0,5—0,6 м, или устанавливают в специально выложенной кирпичной яме. Пространство между стенками ямы и резервуа-

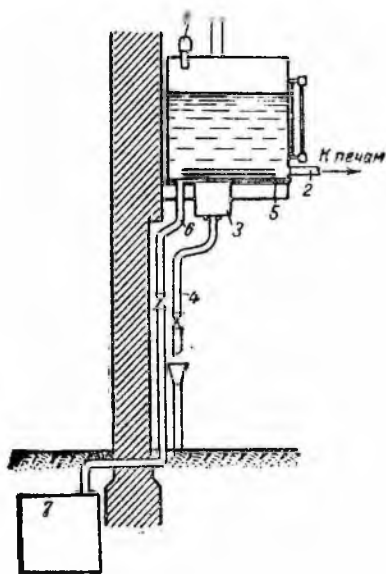
<sup>1</sup> См. Материалы по экономии топлива, ЦНИИМАШ, 1938 г., работа В. И. Соколова.

пом следует заполнять изоляционным материалом. В обоих случаях необходимо делать люк для осмотра и чистки нефтехранилища.

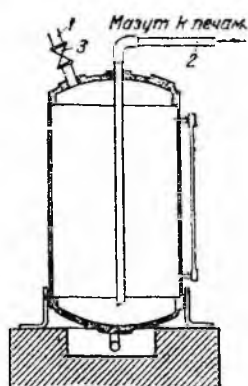
Подогрев мазута в нефтехранилищах, как указывалось, не должен превышать  $40-50^{\circ}$ . Дальнейший подогрев до  $70-80^{\circ}$ , необходимый для лучшего распыливания мазута, производится в специальных нефтеподогревателях.

**Подача топлива.** Подача мазута из нефтехранилища к форсункам печей производится различными способами: самотёком из напорного бака, давлением сжатого воздуха и насосом. Рассмотрим каждый из этих способов.

**Подача самотёком.**  
Подача мазута самотёком от



Фиг. 98. Подача мазута самотёком из напорного бака



Фиг. 99. Подача мазута давлением воздуха

напорного бака, несмотря на ряд серьёзных недостатков, до сих пор применяется на многих заводах.

При этом способе подачи (фиг. 98) внутри цеха устанавливается напорный бак, который наполняется мазутом из нефтехранилища посредством насоса.

Чем выше установлен бак по отношению к печи, тем больше давление подачи мазута.

Мазут подаётся в бак по трубе 1 и из него самотёком поступает к печи по трубе 2; в нижней части бака следует делать отстойник (кувшин) 3 для воды со спускной трубой 4 в канализацию, подогрев мазута осуществляется посредством змеевика. Трубой 6 бак соединяется с резервуаром 7, расположенным вне цеха, что позволяет в случае пожара быстро спустить мазут из напорного бака.

Основные недостатки этого способа:

1. Нельзя создать давление подачи мазута в 2—3 ат, т. е. такое, которое бы дало возможность применять форсунки более

совершенной конструкции<sup>1</sup>. Так, например, чтобы создать давление подачи мазута равным 0,5 ат, необходимо устанавливать напорный бак на высоте более 5 м.

2. Трудно поддерживать постоянное давление, так как по мере расхода мазута из бака давление падает; это приводит к уменьшению подачи мазута в форсунку.

3. Необходимо при большом числе печей устанавливать бак значительных размеров, т. е. иметь в цехе большое количество мазута, что опасно в пожарном отношении.

Следовательно, такой способ подачи мазута допустим только в исключительных случаях — при 1—3 работающих печах.

Подача мазута давлением воздуха. Подача мазута давлением воздуха осуществляется следующим образом (фиг. 99). В специальный герметически (плотно) закрытый бачок, закреплённый на фундаменте, подводится по трубе 1 сжатый воздух, давлением от 0,5 ат и выше. Воздух в бачке производит давление на поверхность мазута, выталкивая его по трубе 2 к печам. Это устройство просто, но успешно применяется лишь при условии постоянного давления воздуха, что может быть достигнуто установкой редукционного клапана 3 на воздухопроводе 1.

Подача насосом. Более совершенное устройство для подачи мазута — подача насосом; она имеет

Фиг. 100. Подача мазута насосами

три разновидности, которые схематически представлены на фиг. 100.

1. По схеме *а* мазут из бака насосом 1 подаётся к печам по разветвлённой незамкнутой системе нефтепроводов; постоянное давление в системе поддерживается клапаном 2. При выключении насоса остатки мазута в трубах самотёком сливаются обратно в бак. Последнее желательно в противопожарном отношении и обеспечивается прокладкой нефтепровода с уклоном от печей.

2. По схеме *б* подача мазута производится насосом 1 по замкнутому нефтепроводу; последний пропускает только то количество мазута, которое потребно для печей. Постоянное давление в системе поддерживается клапаном 2.

3. По схеме *в* подача мазута производится по кольцевой системе нефтепроводов. Здесь насосом 1 подаётся в систему

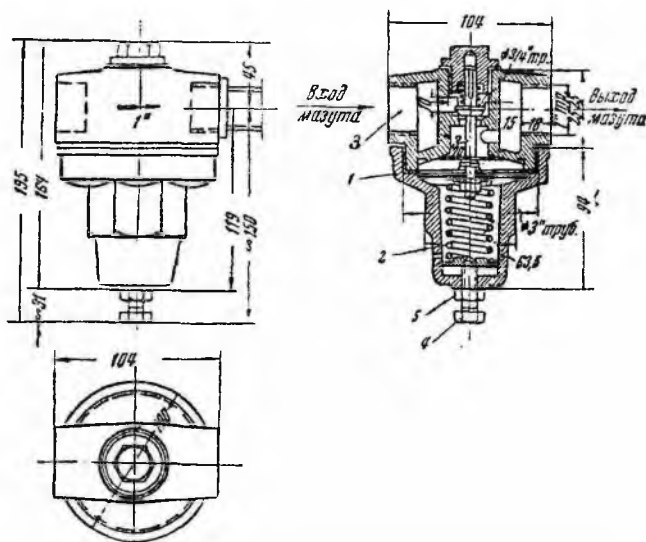
<sup>1</sup> Форсунки Джонстона и др.

4 раза больше мазута, чем расходуется печами. Излишек мазута поступает обратно в нефтяной бак. Очевидно, что данная система наиболее обеспечивает равномерную подачу мазута к печам.

Лучшим насосом для описанных систем является коловратный или центробежный насос, так как при поршневом насосе топливо подаётся толчками, что отражается на работе форсунок.

Для успешной работы каждой из этих систем необходимы правильное и внимательное обслуживание и наблюдение за: 1) соответствующим подогревом мазута; 2) своевременной очисткой фильтров; 3) своевременным спуском воды из расходных нефтяных баков и пр.

**Нефтепровод.** Нефтепровод от нефтехранилища к печам необходимо прокладывать так, чтобы была исключена возможность



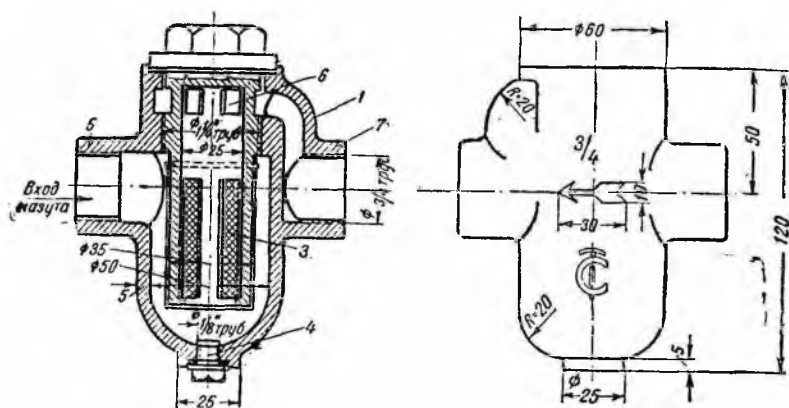
Фиг. 101. Регулятор давления

застывания в нём мазута. До сих пор это ещё имеет место, особенно зимой перед растопкой печей после выходных дней, вследствие застывания мазута совершенно прекращается его подача к печам. Отогревание нефтепроводов доставляет много хлопот, связано с непроизводительной затратой, а главное с простоями цеха. Следовательно, нефтепровод необходимо искусственно обогревать прокладкой под ним паровой трубы. Паропровод берётся диаметром  $1\frac{1}{2}$ " при нефтепроводе от 1" до  $2\frac{1}{2}$ " и диаметром 1" при нефтепроводе более 3".

Нефтепровод и паропровод следует утеплить и сверху покрыть железным кожухом.

Для автоматического регулирования давления мазута перед форсунками на нефтепроводе целесообразно устанавливать саморегулирующие клапаны или регуляторы давления. На фиг. 101

показан один из таких регуляторов<sup>1</sup>, он рассчитан на установку у каждой печи или группы форсунок, питающихся от одного участка нефтепровода. Мазут при прохождении через регулятор оказывает соответствующее давление на медную мембрану 1, которое нормально уравнивается сопротивлением нижней пружины 2. При повышении давления мембрана регулятора прогибается вниз и прикрывает клапан 3 настолько, что давление после регулятора снова выравнивается до первоначальной величины. При повышении давления происходит обратное явление. Установка требуемого первоначального давления мазута после регулятора производится регулировкой положения клапана 3 при помощи винта 4 и гайки 5.



Фиг. 102. Фильтр для мазута

Чтобы нефтепровод и форсунки не засорялись, на них кроме регуляторов давления следует устанавливать фильтры. На фиг. 102 показан один из простых фильтров. Он состоит из корпуса 1 и цилиндра с надетой на него сеткой 3. Мазут поступает в фильтр через штуцер 5, проходит сквозь сетку и через окна 6 и штуцер 7 очищенным выходит из фильтра. Для спуска грязи из фильтра предусмотрена пробка 4.

Для учёта и контроля за расходом мазута на нефтепроводе перед каждой печью или группой печей следует устанавливать нефтемёры. Для контроля температуры подогрева мазута на нефтепроводе после нефтеподогревателя необходимо устанавливать термометры.

## 2. Размер трубопроводов

Правильный выбор сечения трубопроводов, подводящих воздух, газ и мазут к печам, является важным вопросом. На практике, при переделке печей и в ряде других случаев, приходится заменять существующие трубопроводы и устанавливать новые. при этом часто допускают ошибки, когда выбирают диаметр

<sup>1</sup> Конструкции Союзтеплостроя.

трубопровода «на-глазок». Необходимо учитывать, что в трубопроводах чрезмерно малого сечения получаются большие потери напора; следовательно, как давления воздуха (газа или мазута), так и количество его у форсунок или горелок будут недостаточны. Это приводит к снижению производительности печи и даёт обоснованный повод искать причину в плохой работе форсунок или горелок в вентиляторе и др.

Приближённый расчёт для коротких участков с допустимой для практики точностью позволит решить поставленную задачу. Например, зная количество воздуха, необходимое для горения, и допустимую скорость в трубопроводе, можно определить его сечение по следующей формуле:

$$F = \frac{Q}{v},$$

где  $F$  — площадь сечения трубопровода в  $\text{м}^2$ ;

$Q$  — количество воздуха, поступающего в трубопровод, в  $\text{м}^3/\text{сек}$ ;

$v$  — скорость воздуха в трубопроводе в  $\text{м}/\text{сек}$ .

Допустимая скорость в воздухогазопроводе для высокого давления 20—25  $\text{м}/\text{сек}$ , для низкого давления 10—12  $\text{м}/\text{сек}$ ; скорость мазута в нефтепроводе принимают ниже 0,5  $\text{м}/\text{сек}$ .

**Пример.** Определим диаметр воздухопровода, по которому подаётся воздух, в количестве 1200  $\text{м}^3/\text{час}$ , от вентилятора к форсункам. Скорость в воздухопроводе принимаем равной 11  $\text{м}/\text{сек}$ . Подсчитаем, чему равняется секундный расход воздуха:

$$1200 : 3600 = 0,33 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Сечение воздухопровода при этом расходе воздуха и его принятой скорости, равной 11  $\text{м}/\text{сек}$ , равняется

$$0,33 : 11 = 0,03 \text{ м}^2.$$

Трубопроводы следует прокладывать по возможно кратчайшему пути с учётом наименьшего количества поворотов, с плавным переходом от одного сечения к другому; у нефтепроводов необходимо избегать образования мёртвых углов, где мог бы застаиваться мазут.

## Глава IX

### РАБОТА КУЗНЕЧНОЙ ПЕЧИ

#### 1. Использование тепла

**Атмосфера печи.** Первая из основных задач при работе печи, как нами было установлено, состоит в сжигании топлива; сжигать топливо следует так, чтобы из него выделить всё возможное

тепло. Как этого достигнуть, подробно было указано ранее. Там же было указано, что при хорошем полном горении пламя, поступающее из топки в камеру печи, должно быть белым непрозрачным или слабо прозрачным в виде молока или пыли, равномерно заполняющим все пространства рабочей камеры печи.

Прозрачное пламя в виде светящихся языков — острое пламя является признаком горения с большим избытком воздуха; такое горение вызывает излишний расход топлива и повышенный угар (т. е. интенсивное окисление) нагреваемого металла. Мутное, красное пламя, наоборот, является признаком горения с недостатком воздуха, т. е. неполного горения, которое также вызывает излишний расход топлива. Это пламя холодное и долго нагревает металл; угар же металла при нагревании таким пламенем меньший. Очевидно более целесообразно вести горение так, чтобы оно сопровождалось и наиболее экономным сжиганием топлива и наименьшей потерей металла на угар (окалину). Такое горение достигается при количестве воздуха, близком к теоретическому.

*Расход тепла.* Вторая из основных задач при работе печи — наиболее полно использовать полученное от топлива тепло для нагрева металла при обязательном условии правильности его нагрева.

Нагревательные печи в большинстве своём являются крайне неэкономичными устройствами. Основная причина этого заключается в том, что в обычной кузнечной печи газы будут покидать рабочую камеру печи с температурой, на 50—100° превышающей температуру нагретого металла, так как иначе металл нагреть будет чрезвычайно трудно. Таким образом, газы уходят из печи с высокой температурой, т. е. с большим теплосодержанием. Вследствие этого и ряда других причин из всего количества тепла, выделенного топливом при горении, на нагрев металла используется в среднем всего лишь 10%, остальные же 90% представляют потери.

На основании изложенного можно сказать, что всё тепло, выделенное топливом при горении, расходуется в двух направлениях:

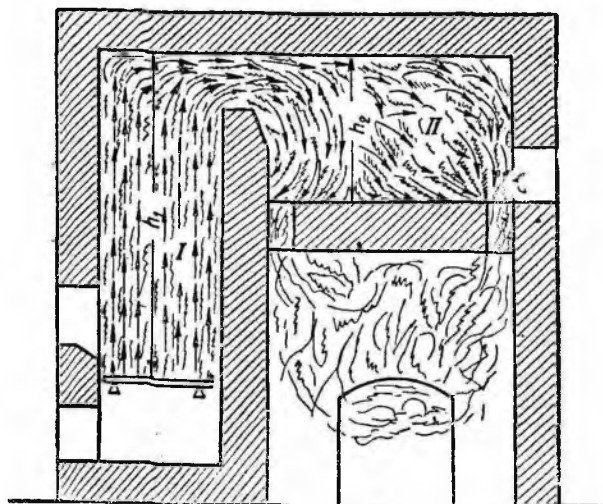
- 1) на нагрев металла (полезный расход тепла);
  - 2) на потери тепла.
- К потерям тепла в нагревательной печи относятся:
- 1) потери тепла при горении<sup>1</sup>;
  - 2) потери тепла стенками печи (кладкой) наружу;
  - 3) потери тепла через рабочие окна;
  - 4) потери тепла с уходящими газами из печи.

*Движение газов.* Как нам известно, движение газов в печи может быть естественное и принудительное. Естественное движение газов имеет место главным образом у печей с самотягой (естественным притоком воздуха). Здесь движение газов в печи возникает без какого-либо побудителя извне: оно происходит собственным напором, который образуется столбами газов за счёт

<sup>1</sup> См. гл. IV.



разности температур или высот этих столбов (разности высоты  $h_1$  топки и высоты  $h_2$  рабочего пространства печи) (фиг. 103). В том и другом случае веса столбов газов будут неодинаковы вследствие этого газ как бы переливается из одной части (топки) в другую часть (рабочее пространство) 2. Очевидно, что



Фиг. 103. Схема движения газов в печи

напор будет тем больше, чем выше температура газов и чем ниже расположена топка от пода печи, т. е. чем больше разница высот  $h_1$  и  $h_2$  столбов газа.

Принудительное движение газов создаётся подачей воздуха в топку под давлением. У печей, работающих на мазуте, принудительное движение газов создаётся дутьём воздуха через форсунку, у газовых печей — за счёт подачи газа (воздуха) под давлением.

Движения газов в печах как чисто естественного, так и чисто принудительного нет. В действительности имеют место оба движения. При этом в зависимости от причин преобладает естественное или принудительное движение.

Движение газов различно не только по причинам, вызывающим его, но и по своему характеру или форме.

При малых скоростях газовый поток состоит из отдельных струек, которые движутся прямолинейно и параллельно друг другу; такое движение называется ламинарным или слоистым.

При больших скоростях это движение нарушается и переходит в беспорядочное вихреобразное, названное турбулентным.

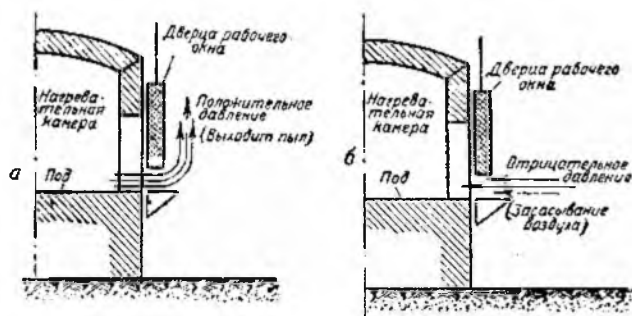
В печах преимущественно имеет место вихреобразное движение.

<sup>1</sup> Удельные веса газов при разных температурах не одинаковы.

ние. При такой форме движения получается и лучшее перемешивание горючего с воздухом, и лучшая теплопередача, так как при этом большее количество частичек газа будет соприкасаться с металлом за один и тот же промежуток времени. Кроме того, при вихреобразном движении создаётся более равномерная температура по всему пространству рабочей камеры печи.

Понятно, что вихреобразного движения с большими скоростями легче добиться в печах, работающих с дутьём и имеющих относительно невысокие рабочие камеры.

Давление в рабочей камере. Скорость движения газов в пространстве печи не должна быть слишком большой. Газы должны задерживаться в рабочей камере до тех пор, пока они не отдадут здесь всё своё избыточное тепло. Управлять дви-



Фиг. 104. Давление в рабочей камере печи

жениями газов, т. е. задерживать их на нужное время в печи, можно посредством шиберов на дымоходе (фиг. 45).

Для правильной работы печи шибер нужно открывать настолько, чтобы при слегка открытой заслонке рабочего окна через образовавшуюся щель (фиг. 104) выбивались язычки пламени (лёгкий пыл). Это является признаком того, что газы хорошо заполняют печь, создавая в рабочей камере давление больше атмосферного<sup>1</sup>, т. е. больше давления помещения цеха. Давление на поду у правильно работающей печи должно быть выше атмосферного на 0,25—0,5 мм вод. ст.; практически об этом судят по длине язычков пламени, выбиваемого через щель заслонки рабочего окна.

При очень большом или полном открытии шиберов газы не будут заполнять печь, давление в рабочей камере понизится и может оказаться меньшим, чем в помещении цеха. При такой работе холодный воздух (фиг. 104) из помещения цеха засасывается через все неплотности в кладке и рабочее окно в печь, охлаждая и окисляя нагреваемый металл. В этом случае печь

<sup>1</sup> В таком случае говорят, что печь работает «с положительным давлением», в противоположность случаю, когда она работает с «отрицательным давлением», т. е. с давлением меньше атмосферного.

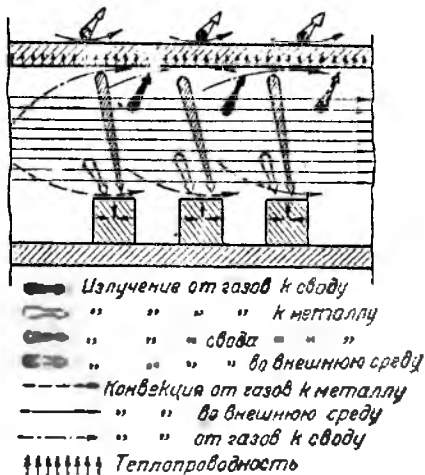
греет плохо, расходует много топлива и даёт большой процент угара металла.

При слишком малом открытии шиберы давление в печи сильно повышается и газы в большом количестве вырываются из рабочей камеры в помещение цеха. При такой работе производительность печи понижается и увеличивается задымление цеха, что создаёт тяжёлые условия для работы.

Из изложенного ясно, что шибер является надёжным приспособлением для регулирования работы печи. Приспособление это помогает правильно нагревать металл, экономно расходовать топливо, получать от печи высокую производительность и не задымлять цех.

**Теплоотдача в рабочей камере.** Горячие газы поступают в рабочую камеру печи, затем по мере отдачи тепла охлаждаются и через газовые каналы уходят из печи наружу. На пути своего движения газы отдают тепло стенкам печи и металлу непосредственным соприкосновением. Такой способ передачи тепла называется конвекцией.

С другой стороны, газы излучают тепло на стенки печи и металл; подобное излучение тепла (нагревание) мы чувствуем, находясь вблизи горящего костра или печи. Раскалённые стенки в свою очередь также излучают тепло на металл. Такой способ передачи тепла на расстояние называется лучеиспусканием или излучением. Заметим, что чем чернее предмет, тем больше поглощает он лучистого тепла.



Фиг. 105. Теплообмен в рабочей камере печи

Тепло, переданное от печных газов и раскалённых стенок на поверхность металла, распространяется (передаётся) внутрь него теплопроводностью (фиг. 105).

Итак, тепло в печи передаётся металлу тремя путями: 1) конвекцией (соприкосновением) — от пламени; 2) лучеиспусканием — от пламени и стенок печи; 3) теплопроводностью — внутри металла.

Установлено, что при высоких температурах в печи наибольшее количество тепла передаётся металлу лучеиспусканием. Так, например, печные стенки с температурой  $1200^{\circ}$  в единицу времени излучают тепла в 8 раз больше, чем стенки с температурой в  $600^{\circ}$ .

Наоборот, при низких температурах передачи тепла лучеиспу-

<sup>1</sup> О передаче тепла теплопроводностью сказано на стр. 132.

сание падает, передача же тепла конвекцией возрастает; так, например, металл в подогревательных камерах печи (здесь температура низкая) нагревается главным образом конвекцией (соприкосновением).

Передача тепла конвекцией тем выше, чем больше скорость движения газов в печи, так как при этом большое количество частичек газа будет соприкасаться с металлом за один и тот же промежуток времени. Следовательно, при вихреобразном движении газов передача тепла конвекцией будет выше, чем при обычном движении.

Основное использование тепла пламени заканчивается в рабочей камере печи; остальное же тепло, уносимое газами дальше в дымовую камеру, и есть те потери тепла с отходящими газами, о которых мы упоминали ранее.

Первым условием более полного использования тепла пламени является равномерное, правильное заполнение рабочей камеры газами. Это имеет большое значение для передачи тепла металлу от газов как конвекцией, так и лучеиспусканием.

Равномерное заполнение рабочей камеры газами, как уже указывалось, зависит не только от правильного расположения газовых каналов в поду печи, но и от исправного чистого их состояния. Действительно, если часть газовых каналов заплывает (засорится), то равномерное заполнение рабочей камеры газами нарушится, так как присоса горячих газов в ту часть печи, где каналы заплыли, не будет. В этой части печи образуется как бы «застой» холодного газа (газовые мешки). Нагрев заготовок здесь будет протекать медленно, неравномерно и с плохим использованием тепла пламени в рабочей камере.

Иначе обстоит дело при чистых и исправных газовых каналах: здесь заполнение газами рабочей камеры получается более совершенным и вследствие этого нагрев заготовок протекает наиболее равномерно (минимум с трёх сторон), быстрее и с лучшим использованием тепла пламени.

Очевидно, что сказанное относится главным образом к печам, в которых преобладает естественное движение газов, т. е. к печам с самотягой или с большими объёмами (высотой) рабочего пространства.

Отметим, что правильная укладка заготовок на поду печи оказывает большое влияние на скорость и равномерность их нагрева. Заготовки должны быть размещены на поду печи не вплотную, а с прозорами и по возможности на подкладках<sup>1</sup>.

Для лучшего использования тепла пламени в рабочей камере необходимо следить:

- 1) за исправным состоянием печи: пода, газовых каналов, рабочего окна, шибера и пр.;
- 2) за правильной укладкой заготовок на поду рабочей камеры и полной загрузкой печи;
- 3) за правильным открытием шибера на дымоходе.

<sup>1</sup> О способах укладки заготовок в печи сказано на стр. 143.

**Потери тепла.** При невыполнении перечисленных условий потери тепла с отходящими газами возрастут до 60% и выше от общего количества тепла, выделяемого топливом при горении. Потери тепла с отходящими газами, даже в лучших случаях, весьма значительны, и следует всемерно стремиться к уменьшению этих потерь как путём правильного обслуживания печи, так и использованием тепла отходящих газов на подогрев металла, воздуха и пр.

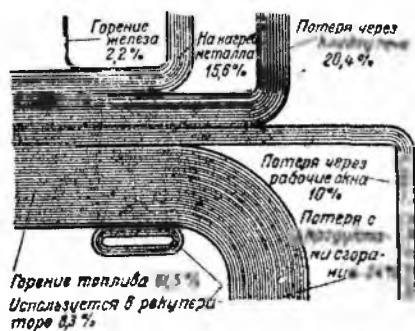
Тепло, отнятое от пламени в рабочей камере печи, используется на нагрев металла не целиком: часть его теряется через рабочие окна и неплотности кладки печи, другая часть теряется лучеиспусканием кладки печи наружу. Выясним, при каких условиях эти потери будут наименьшими.

Потери тепла через рабочие окна у нормально работающей кузнечной печи достигают 10%, а при небрежном уходе за печью они могут быть значительно больше. Для уменьшения этих потерь нагревательщик должен:

- 1) следить за исправным состоянием заслонки рабочего окна и своевременно исправлять её футеровку;
- 2) следить за исправным состоянием подъёмного приспособления заслонки рабочего окна;
- 3) держать заслонки по возможности всегда плотно закрытыми и открывать при надобности на возможно меньшую величину;
- 4) в больших печах, после загрузки рабочей камеры, все неплотности в рабочем окне замазывать глиной.

Потери тепла через стенки печи наружу зависят от температуры внутри печи, толщины материала и состояния стенок. В малых печах эти потери достигают 30%. Средством для уменьшения тепловых потерь через кладку служит изоляция стенок печи. Поэтому необходимо следить за исправным состоянием кладки и изоляции стенок и своевременно принимать меры к их исправлению.

Вышеперечисленные основные условия и средства для наилучшего использования в печах тепла, полученного от горения топлива, не являются исчерпывающими, но при выполнении их безусловно будет достигаться более экономное сжигание топлива и высокая производительность печи. Чтобы дать лучшее представление о размере и характере тепловых потерь в печах, на фиг. 106 приведена схема теплового баланса (прихода и расхода тепла) рекуперативной кузнечной печи среднего размера, работающей на мазуте. Согласно этой схеме имеем:



Фиг. 106. Тепловой баланс нефтяной рекуперативной камерной печи

### Приход тепла

Горение топлива . . . . .	91,5%
Угар железа (образование окалины) . . . . .	2,2%
Тепло, вносимое подогретым воздухом из рекуператора . . . . .	6,3%

Всего . 100,0%

### Расход тепла

На нагрев металла (полезное тепло) . . . . .	15,6%
Потери тепла стенками (кладкой) печи наружу . . . . .	20,4%
Потери тепла через рабочие окна . . . . .	10,0%
Потери тепла с отходящими газами . . . . .	54,0%

Всего . 100,0%

## 2. Явления, происходящие в металле при нагреве и ковке

Мы ознакомились с тем, как следует сжигать топливо и возможно лучше использовать полученное от него тепло. Необходимо ещё усвоить, как правильно производить нагрев металла, т. е. передавать ему тепло.

Правильно нагревать металл — это значит нагревать его:

- 1) равномерно со всех сторон;
- 2) с определённой заданной скоростью;
- 3) до определённой заданной температуры и
- 4) с наименьшими потерями металла (угаром) при этом.

При равномерном нагреве металла тепло используется лучше и металл нагревается быстрее. Однако равномерный нагрев необходим ещё и потому, что этим предупреждается возможность появления в металле трещин.

Чтобы уметь правильно нагревать металл как дляковки, так и последующей термообработки поковок, необходимо знать явления, происходящие с металлом при нагреве и охлаждении. Рассмотрим это подробнее.

**Теплопроводность.** Тепло, передаваемое поверхности металла, от пламени и стенок печи, распространяется (усваивается) внутри металла не мгновенно, а с определённой скоростью, в зависимости от способности металла передавать тепло внутри себя. Способность всякого вещества передавать тепло внутри себя называется теплопроводностью.

Теплопроводность различных материалов неодинакова. В этом легко убедиться, нагревая концы кирпича и железного бруска. У железного бруска тепло от нагреваемого конца к холодному будет передаваться (распространяться внутри) быстро; у кирпича — медленно. Следовательно, теплопроводность железа больше теплопроводности глины. Мерилом теплопроводности различных материалов является коэффициент теплопроводности.

Этот коэффициент показывает, какое количество калорий тепла проводится в один час стенкой из данного материала, площадью 1 м<sup>2</sup> и толщиной 1 м, при разности температур между поверхностями этой стенки в 1°. Теплопроводность различных материалов приведена в табл. 20.

Таблица 20

Теплопроводность различных материалов в пределах температур от 0 до 100°

Материалы	Коэффициент теплопроводности	Материалы	Коэффициент теплопроводности
Медь . . . . .	300—400	Свинец . . . . .	30
Алюминий . . .	175	Шамотовый кирпич . . .	0,45
Цинк . . . . .	95	Красный кирпич . . . . .	0,34—0,45
Олово . . . . .	55	Угольный шлак . . . . .	0,18
Железо . . . . .	40—50	Кизельгур . . . . .	0,11
Никель . . . . .	50	Древесная зола . . . . .	0,09

Наибольшей теплопроводностью (проводимостью тепла) обладают металлы, наименьшей — изоляционные материалы. Вот почему для уменьшения тепловых потерь стенки печей отепляют изоляционными материалами. Теплопроводность металлов также неодинакова; даже различные сорта стали имеют различные теплопроводности: с увеличением содержания углерода теплопроводность стали уменьшается (табл. 21). Ещё меньшей теплопроводностью обладают специальные стали. Вообще, чем больше примесей в стали, тем меньше её теплопроводность. Особенно сильно уменьшают теплопроводность примеси хрома и никеля.

Необходимо отметить, что и теплопроводность стали одного и того же состава непостоянна: она зависит от её температуры и тепловой обработки. Так, например, у углеродистой стали (одинакового состава) теплопроводность с повышением температуры понижается (табл. 21); закалённая же сталь менее теплопроводна, чем отожжённая.

Таблица 21

Теплопроводность стали при различных температурах

Сорта стали	Коэффициент теплопроводности			
	100°	310°	600°	900°
Сталь 0,1% С . . . . .	36,8	39,6	32,4	28,8
Сталь = 0,3% С . . . . .	36,0	32,4	25,2	25,2
Сталь 0,6% С . . . . .	36,0	36,0	28,8	25,2
Сталь = 1,0% С . . . . .	37,8	36,0	32,4	28,8
Сталь = 1,5% С . . . . .	32,4	30,6	28,8	25,2

Теплопроводность имеет большое значение в процессе нагрева металла, так как она определяет скорость распространения тепла внутри слитка или заготовки, т. е. определяет время их нагрева. Следовательно, при нагреве металлов необходимо учитывать теплопроводность их.

**Теплоёмкость.** Различные материалы не только по-разному проводят тепло внутри себя, но и поглощают неодинаковое количество тепла при нагреве до одной и той же температуры.

Вспомним, что для повышения температуры 1 кг воды на 1° требуется количество тепла, равное 1 кал. Для повышения температуры 1 кг железа на 1° требуется количество тепла, равное лишь  $\frac{1}{9}$  кал.

Количество тепла (в калориях), потребное для повышения температуры 1 кг любого вещества на 1°, называется удельной теплоёмкостью данного вещества, или теплоёмкостью.

Теплоёмкость воды равна единице, теплоёмкость железа равна  $\frac{1}{9}$ , или 0,11. Таким образом 100 калориями, потребными для нагрева 1 кг воды от 0 до 100°, можно нагреть 1 кг железа почти до температуры 900°; для нагрева 1 кг железа до 100° потребуется только 11 калории.

Теплоёмкость стали зависит от её состава и, главным образом, от температуры. Изменение теплоёмкости чугуна и стали с изменением температуры видно из табл. 22.

Таблица 22

Теплоёмкость чугуна и стали при различных температурах

Материал	Теплоёмкость										
	400°	500°	600°	700°	800°	900°	1000°	1100°	1200°	1300°	1400°
Чугун	0,135	0,143	0,150	0,167	0,179	0,179	0,178	0,176	0,178		
Сталь	0,129	0,136	0,142	0,159	0,170	0,170	0,168	0,166	0,168	0,166	0,161

Из самого определения теплоёмкости вытекает, что металлы, имеющие большую теплоёмкость, при прочих равных условиях требуют большого времени нагрева, так как чем выше теплоёмкость материала слитка или заготовки, тем большее количество тепла потребуется для нагрева их до определённой температуры.

Следовательно, на скорость распространения тепла внутри материала влияет и его теплоёмкость.

**Коэффициент расширения.** Известно, что при нагревании почти все тела расширяются.

Величина, определяющая степень расширения при нагревании, называется коэффициентом расширения. Следует различать два коэффициента расширения: коэффициент объёмного и коэффициент линейного расширения.

Первый из них показывает, во сколько раз увеличивается объём тела при повышении его температуры на 1°; второй — показывает увеличение линейных размеров (длины, ширины и высоты) тела при повышении его температуры на 1°.



Величина коэффициента расширения стали зависит от её состава и температуры.

Для обычной углеродистой стали при температурах от 0 до 600° величина коэффициента линейного расширения составляет от 0,000011 до 0,000016. Между коэффициентом линейного расширения и коэффициентом объёмного расширения существует приближённая зависимость, а именно: коэффициент объёмного расширения равен утроенному линейному.

Для определения линейного размера нагретого тела (например длины) необходимо его первоначальную длину (до нагрева) умножить на соответствующий коэффициент линейного расширения и на температуру нагрева. Для определения же объёма нагретого тела необходимо первоначальный его объём (до нагрева) умножить на утроенный линейный коэффициент и температуру нагрева.

*Изменение строения металла.* Вспомним, что сталь представляет собой массу, которая состоит из громадного количества мелких кристаллов — зёрен (фиг. 2). При нагреве или охлаждении в стали при определённых температурах происходят структурные превращения, заключающиеся в изменении внутреннего строения зёрен (кристалликов). При этом изменяются также размеры, форма и расположение зёрен, из которых состоит сталь. Вследствие этого изменяются и свойства стали: пластичность, твёрдость и пр. С причиной указанных превращений мы частично ознакомились<sup>1</sup>.

Основные элементы структуры стали следующие:

**Феррит** — т. е. чистое железо; до температуры 720° почти не растворяет углерода (до 0,04%), при нагреве выше 720° феррит меняет своё внутреннее строение и приобретает способность растворять углерод.

**Цементит** — химическое соединение железа с углеродом, которое сообщает стали твёрдость, очень хрупок.

**Аустенит** — твёрдый раствор углерода в  $\gamma$ -железе, в обычной стали этот раствор появляется только при высоких температурах. Аустенит очень пластичен и мягок, хорошо деформируется.

**Перлит** — смесь очень мелких пластинок или зёрен цемента и феррита.

Температуры, при которых происходят структурные превращения стали, называются критическими температурами или критическими точками.

В углеродистой стали имеются две критические точки — верхняя и нижняя: нижняя соответствует температуре 720°; температура верхней критической точки зависит от содержания углерода в стали (см. табл. 23).

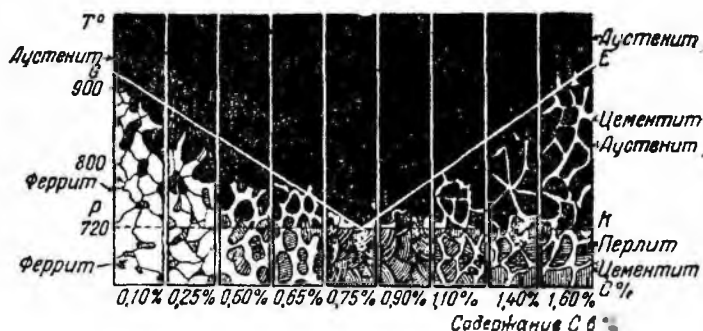
Значение критических точек для стали в зависимости от её состава, т. е. содержания углерода, определяется специальной диаграммой состояния железоуглеродистых сплавов<sup>1</sup>. На фиг. 107 показана схема этой диаграммы.

<sup>1</sup> См. учебник по металлографии.

Таблица 23

Значения верхней критической точки в стали  
в зависимости от содержания углерода

Содержание углерода в %	Температура, соответствующая верхней критиче- ской точке, в °С	Содержание углерода в %	Температура, соответствующая верхней критической точке, в °С
0,05	900	0,5	800
0,1	890	0,6	775
0,2	870	0,8	738
0,3	845	0,9	720
0,4	825		



Фиг. 107. Схема диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов

При построении диаграммы по горизонтали отложены содержание в стали углерода, по вертикали — температура. Следовательно, каждый столбик диаграммы соответствует определённому сорту стали и показывает структурные превращения в ней с изменением температуры. Из диаграммы видно, что по мере увеличения углерода в стали до 0,9% верхняя критическая точка падает от 900 до 720°; следовательно, чистое железо имеет верхнюю критическую точку при 900°, у стали с содержанием углерода 0,9% совпадает нижняя и верхняя критические точки. С повышением содержания углерода выше 0,9% температура верхней критической точки опять резко повышается.

Из диаграммы также видно, что структурные превращения в углеродистых сталях при нагреве происходят в пределах температур между нижней и верхней критическими точками<sup>1</sup>. В чём же они заключаются? Возьмём к примеру сталь с содержанием 0,65% углерода, её структура состоит из феррита и перлита. При нагреве её несколько выше нижней критической точки перлит переходит в аустенит, т. е. приобретает способность растворять углерод (меняя свое строение) и растворяет цементит; феррит

<sup>1</sup> Между линией PK и линией GSE диаграммы.

же остаётся без изменений. При дальнейшем нагреве феррит постепенно растворяется в аустените; этот процесс заканчивается при температуре верхней критической точки ( $760^{\circ}$ ). Следовательно, при нагреве до температуры выше критической точки сталь приобретает аустенитовую структуру.

Удельный вес аустенита больше, а следовательно, удельный объём меньше, чем феррита, поэтому при температурах критических точек происходят резкие изменения объёмов.

Структурные превращения обратимы, т. е. при охлаждении стали они протекают последовательно в обратном порядке.

**Образование трещин в металле при нагреве.** Так как тепло внутри металла распространяется постепенно, то часть заготовки, обращённая к пламени, будет нагреваться быстрее. Сталь, как мы знаем, при нагреве расширяется; например, при нагреве до  $1000^{\circ}$  длина заготовки увеличивается на  $\frac{1}{84}$ , а объём увеличивается на  $\frac{1}{52}$  против первоначального объёма. Вследствие этого частички металла в заготовке, нагретые больше, стремятся как бы оторваться от частичек металла, нагретых меньше, и в заготовке появляются внутренние силы, разрывающие её. Такого рода силы или напряжения, возникающие вследствие неравномерного нагрева, называются температурными или термическими напряжениями.

Эти напряжения будут тем больше, чем больше разница температур в различных частях материала заготовки или слитка. При большой разнице температур внутри материала<sup>1</sup> температурные напряжения могут настолько возрасти, что в отдельных местах разорвут заготовку или слиток. Это одна из возможных причин образования трещин при нагреве.

Тепло необходимо передавать металлу не только равномерно со всех сторон, но и в определённом количестве, т. е. необходимо нагревать металл с определённой скоростью, зависящей также от его теплопроводности. При очень быстром неосторожном нагреве тепло не успевает распространяться (передаваться) внутри металла, и тогда может получиться так, что поверхность слитка или толстой заготовки будет оплаиваться, между тем как середина будет холодной. В этом случае опять появятся внутренние силы в металле, способствующие образованию трещин и расслоению металла, — и это вторая возможная причина образования трещин в металле при нагреве.

Кроме того, необходимо помнить, что структурные превращения сопровождаются изменением объёма металла. При очень быстром нагреве возникает значительная разница температур во внешних и внутренних слоях материала; следовательно, структурные превращения в поверхностных и внутренних слоях будут проходить неодновременно. В результате этого внешние слои металла, нагретые выше верхней критической точки, расширя-

<sup>1</sup> Это особенно может иметь место при неравномерном нагреве высокоуглеродистых и специальных сталей (вследствие их малой теплопроводности), а также слитков и заготовок вообще.

ются, внутренние же слои, нагретые в пределах критических температур, сжимаются. Очевидно, что такое явление может также вызвать образование трещин и расслоение металла.

Итак, запомним, что при нагреве стали появляются внутренние напряжения (силы), вызванные изменением объема под влиянием температурного расширения и структурных превращений, которые при неправильном нагреве и являются причиной возникновения трещин.

Большое значение при нагреве имеет пластичность металла. Температуры наименьшей пластичности стали для разных марок различны, но для большинства марок они колеблются в пределах 300—500°. В этом пределе температур сталь и приобретает повышенную хрупкость (синеломкость), и возможность возникновения трещин становится наибольшей. С повышением температуры до 750° пластичность стали снова повышается; у железа же при нагреве наблюдается непрерывное повышение пластичности. Поэтому режим нагрева стали должен быть таков: нагрев углеродистой или специальной стали до температуры 650—800° должен протекать медленно, затем до 1000—1100° быстро и далее опять медленно. Железо и малоуглеродистую сталь можно сразу нагревать быстро до температуры 1000—1150°, затем медленно — до требуемой температуры. В обоих случаях медленным нагревом в конце (выдержкой) достигается получение равномерного прогрева всей массы металла.

*Перегрев и пережог.* При нагреве стали её зёрна (кристаллы) начинают расти и рост протекает тем быстрее, чем выше температура и чем продолжительнее нагрев; особенно быстро растут зёрна при температуре 1200—1300°. Поэтому передерживать металл в печи не следует — это может понизить качество поковки, сделать металл крупнозернистым<sup>1</sup> (фиг. 108) и в зависимости от этого хрупким. Для исправления перегретой заготовки её проковывают сильными ударами молота, отчего крупные зёрна раздробляются и структура опять получается мелкой. Мелкозернистая структура может быть восстановлена также и соответствующей термической обработкой<sup>2</sup>.

Если сталь нагревать долго при температуре выше установленной для данного сорта, то под действием кислорода пламени происходит окисление металла не только с поверхности, но и внутри по границам зёрен, отчего связь между отдельными зёрнами в стали нарушается и появляются трещины; такая сталь при ковке разваливается на куски. Эта порча стали называется пережогом (фиг. 109). Пережог непоправим и приводит сталь в полную негодность.

Теоретически пережог наступает: у стали с содержанием углерода менее 1% — при температуре выше 1200°, у стали с содержанием углерода выше 1% — при температуре 1180—1140°.

<sup>1</sup> При сильном перегреве сталь становится не только крупнозернистой, но и лишается части углерода, который из неё выгорает. Вследствие этого сильно перегретая сталь по прочности не отвечает своему сорту.

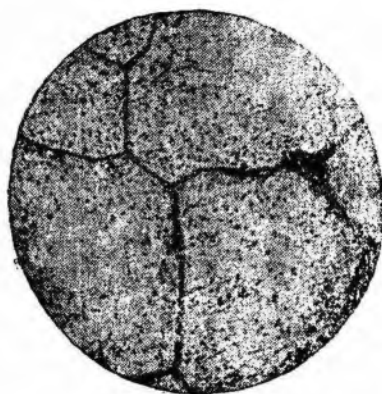
<sup>2</sup> Отжигом и нормализацией.

Изложенное поясняет, почему каждый сорт стали нужно нагревать не только с определённой скоростью, но и до определённой установленной температуры.

**Угар металла.** Нам известно, что железо обладает способностью соединяться с кислородом; оно окисляется, переходя в железный окисел. При нагреве железа этот окисел образуется в виде окалины. Следует помнить, что около миллиона тонн железа ежегодно в прокатных кузнечных и других печах нашего Союза теряется в окалину. Поэтому борьба с уга-



Фиг. 108. Строение перегретой стали



Фиг. 109. Строение стали при пережоге

ром металла должна вестись так же энергично, как борьба за экономию топлива. Только умелое, добросовестное отношение к работе может понизить эти громадные потери металла.

Вред угара не исчерпывается только потерей металла с окалиной; последняя при ковке вдавливается в металл, отчего понижается качество поковки и увеличивается брак; кроме того, окалина способствует разъеданию пода печи.

Степень угара (количество окалины), как нам известно, зависит от содержания кислорода в пламени, т. е. от атмосферы печи: чем больше избыток воздуха, тем больше угар металла. Угар зависит также от длительности нагрева: чем длительнее нагрев, тем больше угар. На скорость окисления (угар) большое влияние оказывает и температура в печи; чем выше температура, тем энергичнее протекает окисление. Резкое повышение скорости окисления наблюдается с температуры 850—900°. Если принять скорость окисления при этой температуре за единицу, то скорость окисления при 1000° будет равна 2, при 1100° — 3,5, при 1300° — 7. Это — ещё одна из причин, почему не следует передерживать металл в печи. Угар различных сортов стали при одних и тех же условиях неодинаков: ма-

лоуглеродистые стали дают больший угар; сталь с высоким содержанием углерода и специальные стали дают меньший угар.

Нормальным считают угар не свыше 2% от веса нагреваемой стали.

Характер окалины неодинаков, что также зависит от атмосферы печи: при нагреве в пламени с большим избытком воздуха образуется легко отделяемая окалина; напротив, нагрев в пламени с недостатком воздуха сопровождается образованием трудно отделяемой окалины. Это обстоятельство необходимо учитывать, так как характер окалины оказывает большое влияние на дальнейшую обработку металла.

Рекомендуется вести нагрев стали следующим образом: до температуры 1000° нагревать сталь в атмосфере с небольшим избытком воздуха, дальнейший же нагрев до требуемой температуры вести в атмосфере с очень малым избытком воздуха. При таких условиях образуется легко отстающая окалина. Слитки и толстые заготовки из специальных сталей, требующие очень медленного нагрева, рекомендуется вообще нагревать в атмосфере слегка коптящим пламенем, так как пламя при этом имеет низкую температуру и благодаря этому обеспечивает медленный прогрев металла.

Для понижения угара необходимо:

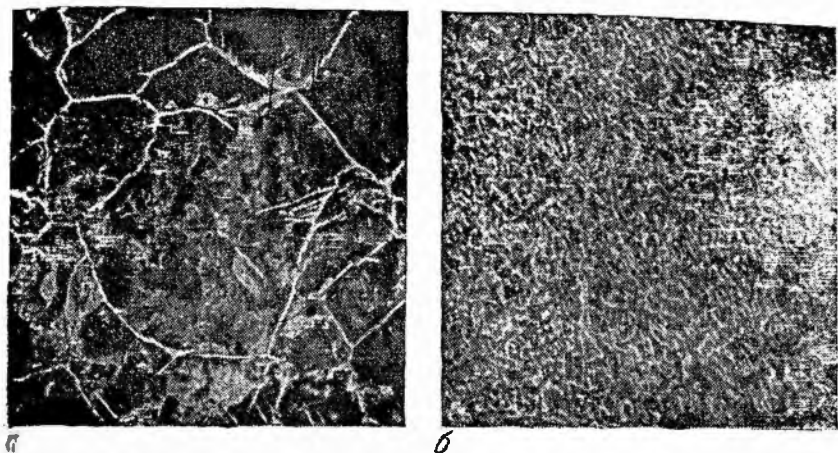
1) правильно вести режим нагрева металла;

2) всемерно предупреждать излишнее поступление воздуха в печь.

*Явления при ковке.* Нам остаётся ещё установить, как ведёт себя сталь при ковке. Мы знаем, что при ковке качество металла повышается, так как строение его становится более однородным и мелкозернистым. Чтобы достигнуть этого, необходимо не только начинать ковку при надлежащей температуре, зависящей от сорта стали, но и заканчивать её тоже при определённой температуре (не ниже 750—800°). Ковка стали при низких температурах сопровождается явлением наклёпа, заключающимся в том, что сталь с поверхности становится твёрдой и хрупкой. При дальнейшей ковке сталь в таком состоянии может дать трещины, в особенности сталь с высоким содержанием углерода. Особенно опасно ковать сталь при температурах ниже 500°, так как в пределах температур 500—300° сталь очень хрупка, легко даёт трещины с характерным изломом синеватого цвета (синеломка).

Чем выше температура, тем зёрна растут быстрее. Очевидно, что сталь, ковка которой закончена при высокой температуре, будет иметь крупнозернистое строение (структуру) и вследствие этого пониженную прочность (фиг. 110).

Следовательно, ковку нужно заканчивать с таким расчётом, чтобы поковка долго не оставалась при температурах выше 750—800°, и по возможности избегать повторных нагревов до температур выше 1000°. Практически это не всегда удаётся выполнить, так как при сложных поковках для придания окончательной формы приходится производить повторные нагревы.



Фиг. 110. Крупнозернистая сталь *а*, ковка которой была закончена при высоких температурах, и мелкозернистая сталь *б* после отжига

### 3. Время и температура нагрева металла

**Скорость нагрева.** Под допустимой скоростью нагрева следует понимать ту наибольшую скорость, с которой можно нагревать сталь данного сорта без вреда для качества изделия.

Напомним, что скорость нагрева зависит от теплопроводности металла, что особенно необходимо учитывать при нагреве легированных сталей, слитков и толстых заготовок. Для большинства кузнечных печей граница между тонким и толстым материалом находится в пределах от 8 до 11 см, если нагрев заготовки производится с двух противоположных сторон. Заготовки толщиной до 8 см из углеродистой или малолегированной стали можно нагревать, не заботясь о скорости нагрева, т. е. так быстро, как может греть печь. Заготовки толщиной от 8 до 11 см в ряде случаев следует нагревать со скоростью, зависящей от сорта стали, и, наконец, нагрев заготовок или слитков толщиной свыше 11 см всегда необходимо вести с определённой установленной скоростью, в зависимости от сорта стали.

В конструкционные стали тепло проникает примерно со скоростью 0,6 мм в минуту. Исходя из этого и ряда других условий, устанавливают время нагрева для различных заготовок и слитков (различного сорта и размера).

Этими дополнительными условиями, от которых зависит время нагрева, являются:

- 1) температура рабочего пространства печи и конечная температура нагрева металла;
- 2) размер и форма нагреваемых болванок;
- 3) расположение болванок на поду печи.

**Температура нагрева.** Как известно, при нагреве пластичность металла изменяется. Наиболее пластичной сталь становится при температурах от 850 до 1300°; в этих пределах температур и

нужно производить ковку стали. Следовательно, задача состоит в том, чтобы правильно нагреть металл до температуры не ниже начала ковки.

Необходимо помнить, что не все стали нагреваются для ковки до одной температуры: каждому сорту стали соответствует определённая температура ковки. Так, например, мягкую сталь (с содержанием углерода до 0,4%), обычно применяемую для поковок, можно нагревать до температуры 1150—1200°. Высокоуглеродистую сталь (инструментальную сталь), во избежание выгорания углерода, нагревать выше температуры 1000—1050° не следует. Некоторые сорта специальной стали можно нагревать до температуры 1250°. В табл. 24 приве-

Таблица 24

Температуры начала и конца ковки различных сортов стали

Сорта стали	Начало ковки в °С	Конец ковки в °С
Углеродистые		
C=0,1—0,15% . . . . .	1200	750
C=0,2—0,5% . . . . .	1150	750
C=0,6% . . . . .	1100	800
C=0,7% . . . . .	1050	800
C=0,8—1,2% . . . . .	1000	800
Никелевые		
C=0,15—0,2%; Ni=1,0% . . . . .	1250	950
C=0,25—0,3%; Ni=3,0% . . . . .	1100	950
C=0,25—0,3%; Ni=5,0% . . . . .	1100	950
C=0,25—0,3%; Ni=25,0% . . . . .	1100	1000
Хромоникелевые		
C=0,2—0,3%; Ni=3,0%; Cr=1,0% . . . . .	1100	850
Хромистые		
Cr=0,6—0,9% . . . . .	1150	800
Cr=1,6—2,1% . . . . .	1100	850
Кремнемарганцевая		
Si=1,5—1,8%; Mn=0,7—0,9% . . . . .	1100	850
Хромомолибденовая		
Cr=0,9—1,2%; Mo=0,3—0,5% . . . . .	1150	850

дены температуры начала и конца ковки различных сортов сталей<sup>1</sup>.

В практике для сокращения времени нагрева температуру рабочего пространства печи берут несколько выше конечной температуры нагрева заготовки. Этот перепад (или температурный напор), т. е. разница между температурой печи и конечной температурой нагретой заготовки, достаточно иметь в пределах от 50 до 100°.

<sup>1</sup> По данным проф. К. Ф. Грачёва и др. См. М. А. Глиников, Прокатные и кузнечные печи, стр. 53.



Следует помнить, что хотя при большом температурном напоре время нагрева и снижается значительно, разность температур в толще металла сильно возрастает, а это, как известно, может привести к образованию трещин в металле.

Исходя из допускаемых температур нагрева стали при ковке и температурного напора (50—100°), можно сделать вывод, что нормальной температурой рабочего пространства камерной кузнечной печи следует считать 1200—1350°.

Размер и форма болванок. Чем больше толщина<sup>1</sup> или диаметр заготовки, тем больше времени требуется для её нагрева. Кроме того, на время нагрева влияет и длина болванки: время нагрева сокращается с уменьшением её длины. Так, например, при длине болванки, равной 1,5 диаметра или толщины, время нагрева сокращается примерно на 10%, а при длине, равной диаметру или толщине, на 30%.

Форма болванок также оказывает заметное влияние

на время их нагрева: круглые болванки при прочих равных условиях нагреваются быстрее болванок прямоугольного сечения, так как поверхность соприкосновения круглой болванки с пламенем, а следовательно и поверхность поглощения тепла лучеиспускания, больше, чем плоской (см. табл. 25).

Расположение болванок в печи. Если болванки лежат на поду печи плотно, то поверхность, воспринимающая тепло, значительно уменьшается. Так, например, у прямоугольных болванок в этом случае нагрев будет происходить только с одной стороны.

На фиг. 111 показано расположение болванок в печи<sup>2</sup>; видно что круглая болванка, расположенная на подине, нагревается так же быстро, как болванка квадратного сечения, имеющая всесторонний нагрев (посаженная на подкладку). Время нагрева для этих условий принято за единицу.

Время нагрева. Время нагрева стальных заготовок или слитков определяется их составом, размером, формой, их расположением в печи, конечной температурой нагрева и температурой рабочего пространства печи.

Расположение заготовок	Длина заготовки	Расположение заготовок	Время нагрева
	1		1
	1		1,4
	2		4
	1,4		2,2
	1,3		2
			1,8

Фиг. 111. Влияние расположения болванок в печи на время их нагрева

<sup>1</sup> За толщину слитка или заготовки следует принимать размер, в направлении которого происходит передача тепла.

<sup>2</sup> Из работ ЦНИИМАШ, В. Ф. Копытов и П. В. Сорокин «Теория в практика металлургии» № 7, 1936.

**Время нагрева заготовок углеродистой конструкционной стали  
при температуре рабочего пространства печи 1300°**

Диаметр <i>d</i> или сторона квадрата <i>a</i> в мм	Профиль заготовки							
	круглый				квадратный			
	Расположение заготовок в печи							
	одинач- ное	на рас- стоянии <i>d</i>	на рас- стоянии <i>d/2</i>	вплот- ную	оди- нач- ное	на рас- стоянии <i>a</i>	на рас- стоянии <i>a/2</i>	вплот- ную
Время нагрева заготовок в минутах от температуры 15 до 1200°								
10	2,0	2,0	3,0	4,0	2,5	3,5	4,5	8,0
20	3,0	3,5	5,0	7,0	4,5	6,0	8,0	13,0
30	5,0	5,5	7,0	10,0	6,0	8,5	11,0	19,0
40	6,5	8,0	9,5	13,0	8,0	11,0	14,0	25,0
50	8,0	9,5	12,0	16,0	10,5	14,5	17,5	32,0
60	9,5	11,5	14,0	19,5	12,5	17,5	21,0	38,0
70	11,0	13,5	16,5	22,5	14,5	20,5	25,0	44,0
80	13,0	15,5	19,5	26,0	17,0	23,5	28,5	52,0
90	15,0	18,0	23,0	31,0	19,5	27,0	33,5	62,0
100	18,0	21,5	27,0	36,0	23,0	32,5	40,0	72,0

**Время нагрева заготовок в минутах от температуры 700 до 1200°**

10	1,0	1,0	1,5	2,0	1,5	2,0	2,5	4,0
20	2,0	2,5	3,5	4,0	3,0	4,0	5,0	9,0
30	3,0	3,5	4,0	6,0	4,0	5,0	6,5	12,0
40	4,0	5,0	6,0	8,0	5,0	7,0	9,0	16,0
50	5,0	6,0	7,5	10,0	6,5	9,0	11,0	20,0
60	6,0	7,0	9,5	13,0	8,0	11,0	14,0	24,0
70	7,5	9,0	11,0	15,0	10,0	13,0	17,0	29,0
80	9,5	10,5	14,0	18,0	12,0	16,0	20,0	35,0
90	11,0	13,0	16,0	22,0	14,0	19,0	24,0	43,0
100	13,0	15,5	19,5	26,0	17,0	22,0	29,5	52,0

В табл. 25 приводятся нормы времени нагрева до температу-  
ры 1200° для стальных заготовок толщиной до 100 мм, при  
температуре рабочего пространства печи 1300°, т. е. для усло-  
вий, наиболее распространенных в практике. Эти нормы време-  
ни нагрева даются только для кузнечных заготовок (круглых и  
квадратных) обычной конструкционной стали, с содержанием  
углерода от 0,08 до 0,4% (ОСТ НКЧМ 2897) и заготовок  
малолегированной стали.

Для углеродистых инструментальных и среднелегированных  
сталей тех же размеров время нагрева увеличивается на  
25—50%.

Для высоколегированных конструкционных и инструменталь-  
ных сталей время нагрева соответственно увеличивается на  
50—100%.

<sup>1</sup> Нормативы по нагреву кованых и катаных кузнечных заготовок  
МАШГИЗ, 1941.

Теперь остаётся выяснить время нагрева для болванок толщиной свыше 100 мм. Нормативы для нагрева таких болванок ещё не разработаны. До сих пор заводы сами устанавливают нормы нагрева, которые нередко весьма разноречивы и имеют расхождения в два и более раза. Время нагрева с достаточной точностью для практики рекомендуют определять по формуле акад. Н. Н. Доброхотова:

$$t = KD\sqrt{D} \text{ час.},$$

где  $t$  — время нагрева от 0 до 1200° в час.;

$D$  — толщина болванки или диаметр её в м;

$K$  — коэффициент, равный 10 для мягкой стали (с содержанием углерода до 0,4%) и 20 для высоколегированной стали.

Время нагрева мягкой стали от 0 до 850° равно времени нагрева от 850 до 1200°. Следовательно, для этих особых случаев полное время нагрева (от 0 до 1200°) необходимо разделить пополам.

Для высоколегированных сталей время нагрева от 0 до 850°:

$$t_1 = 13,3 D \sqrt{D} \text{ час.}$$

и от 850 до 1200°

$$t_2 = 6,7 D \sqrt{D} \text{ час.}$$

В табл. 26 приводятся значения времени нагрева для мягкой и легированной стали, подсчитанные по формуле академика Н. Н. Доброхотова.

Таблица 26

Нормы времени нагрева

Диаметр или толщина слитка (заготовки)		Продолжительность нагрева от 0 до 1200°			
		Мягкая сталь		Легированная сталь	
в м	в мм	в часах	в минутах	в часах	в минутах
0,1	100	0,32	20	0,64	39
0,2	200	0,90	55	1,80	114
0,3	300	1,65	100	3,30	200
0,4	400	2,50	150	5,00	300
0,5	500	3,50	210	7,00	420
0,6	600	4,65	280	9,30	560
0,7	700	5,90	360	11,80	700
1,0	1000	10,00	600	20,00	1200

Нормы времени нагрева, определяемые по формуле акад. Н. Н. Доброхотова, относятся к случаю равномерного нагрева со всех сторон. Так как в кузнечных печах нагрев металла может протекать не только со всех сторон, но и с двух и с одной стороны, то необходимо учитывать это и переходить к любому из случаев нагрева, указанных на фиг. 111, увеличивая норму вре-

мени нагрева, полученную по формуле акад. Н. Н. Доброхотова на соответствующие значения, указанные на фиг. 111.

Пример. Определить время нагрева до температуры от 0 до 1200° квадратных заготовок толщиной 300 мм мягкой стали, при укладке их на подине печи с расстоянием друг от друга равным толщине заготовки.

Согласно формуле акад. Н. Н. Доброхотова (табл. 26) норма времени нагрева для этих заготовок равняется 1,65 часа. При заданном способе укладки заготовок в печи это значение необходимо увеличить в два раза (фиг. 111). Следовательно, норма времени нагрева для данного случая будет равняться

$$1,65 \cdot 2 = 3,3 \text{ часа.}$$

Учитывая, что практически равномерного нагрева металла в печи со всех сторон не получается, рекомендуют при переходе от нагрева с одной стороны к нагреву с двух или четырёх сторон соответствующую норму длительности нагрева уменьшать не в 2 или 4 раза, а в 1,5 или 3 раза. Наоборот, если при норме для нагрева со всех сторон хотят определить норму нагрева с одной или двух сторон, то соответствующую норму увеличивают в 2 или 4 раза, а не в 1,5 или 3 раза. Таким образом, при переходе от двустороннего нагрева к нагреву с одной стороны норма увеличивается в 2 раза, при переходе же к нагреву со всех сторон норма уменьшается в 1,5 раза.

Приведённые соображения и нормы времени нагрева не являются исчерпывающими — это лишь данные, которые помогут в большинстве случаев нагрева правильно и просто решить поставленную задачу.

#### 4. Отжиг и нормализация

Указанные выше недостатки, появляющиеся в стали при нагреве и ковке: крупнозернистое строение (в результате перегрева и рано законченной ковки), наклёп, внутренние напряжения (как следствие неравномерного остывания) — могут быть устранены посредством отжига и нормализации.

**Отжиг.** При отжиге сталь нагревают до температуры на 30—50° выше верхней критической точки (800—920°) и затем медленно охлаждают. При таком нагреве происходит перекристаллизация (преобразование структуры) стали, т. е. перестроение зёрен, и после охлаждения образуется мелкозернистая структура.

Нагрев при отжиге следует вести со средней скоростью 45 мин. на каждые 25 мм наибольшей толщины поперечного сечения поковки<sup>1</sup>.

При всех нагревах для отжига и других операций термической обработки следует избегать обезуглероживания, т. е. выгорания углерода с поверхности стали (фиг. 112). Поэтому необходимо избегать избытка воздуха. Охлаждение стали после полного отжига должно быть очень медленным (вместе с печью).

<sup>1</sup> Проф. Болховитинов. Металлография.

В результате отжига сталь становится мелкозернистой и более мягкой.

В табл. 27 приведены температуры отжига сталей с разным содержанием углерода.

**Нормализация.** Нагрев стали до температуры 780—900° (выше линии GSE) с последующим охлаждением её на воздухе называется нормализацией. Слово «нормализация» показывает, что сталь после данной тепловой обработки приобретает нормальное мелкозернистое строение (структуру), свободное от наклёпа и внутренних напряжений.

Поковки после нормализации становятся несколько более твердыми, чем после отжига.

Нормализации обязательно подвергают все ответственные поковки из стали средней твердости.

В табл. 28 приведены температуры нагрева при нормализации сталей с различным содержанием углерода.



Фиг. 112. Выгорание углерода на поверхности стали

Таблица 27

Температура отжига

Содержание углерода в %		Температура нагрева	
от	до	от	до
	0,12	875	925
0,12	0,29	840	870
0,30	0,49	815	840
0,50	1,00	790	815

Таблица 28

Температура нормализации

Содержание углерода в %		Температура нагрева	
от	до	от	до
0,65	0,80	800	880
0,80	0,95	800	815
0,95	1,10	815	880
1,10	1,25	860	900

## 5. Показатели работы печи

Эффективность работы печи определяется рядом показателей основными из которых являются следующие:

- 1) производительность печи;
- 2) расход топлива;
- 3) коэффициент полезного действия;
- 4) угар металла.

Эти показатели позволяют составить как техническую, так и экономическую оценку работы печи, а также позволяют судить о качестве обслуживания печи.

**Производительность печи.** Средняя производительность печи определяется весом нагретого металла в час. Зная размеры площади рабочего пода, которая определяется как произведение длины пода на его ширину (в  $\text{м}^2$ ), можно определить напряжённость пода.

Напряжённость пода печи определяется весом нагретого металла в час на  $1 \text{ м}^2$  площади пода. Следовательно, разделив производительность печи на площадь пода, получаем этот показатель. Так, например, если при размере рабочего пода  $4 \text{ м}^2$  производительность печи равна  $1000 \text{ кг}$  стали в час, то напряжённость пода будет

$$1000 : 4 = 250 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{час.}$$

Очевидно, что напряжённость пода и, следовательно, производительность печи не являются величинами постоянными, а зависят от конструкции печи, режима нагрева металла и пр. Напряжённость пода кузнечных печей колеблется от  $200$  до  $450 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{час}$  и выше.

**Расход топлива.** Одним из показателей использования тепла в печах является удельный расход топлива. Удельным расходом топлива называется то количество топлива (в килограммах), которое сжигается в печи для нагрева весовой единицы ( $1 \text{ т}$ ) металла. Так, например, если на нагрев  $5 \text{ т}$  стали сожжено  $750 \text{ кг}$  мазута, то удельный расход топлива будет

$$750 : 5 = 150 \text{ кг на } 1 \text{ т стали.}$$

Для наглядного суждения об экономичности работы печи необходимо удельный расход топлива вычислять по условному топливу<sup>1</sup>, так как различные виды топлива имеют различные теплотворные способности.

Удельный расход в условном топливе составляет:

Для камерных печей . . . .  $110\text{--}300 \text{ кг на } 1 \text{ т стали}$   
Для методических печей . .  $50\text{--}120 \text{ кг на } 1 \text{ т стали}$

В табл. 29 приведены значения производительности и удельного расхода топлива в однокамерных печах; два последние значения из них относятся к рекуперативным печам.

<sup>1</sup> Об условном топливе сказано в главе III.

Приведённые в табл. 29 значения производительности и удельного расхода топлива печами не являются предельными.

Таблица 29

Средний расход топлива в малых и средних камерных кузнечных печах при температуре 1200°<sup>1</sup>

Внутренние размеры рабочей камеры печи в мм длины, ширины и высоты	Расход условного топлива в кг/час		Удельный расход условного топлива на 1 т металла в кг.	Наибольшая производительность печи в кг/час	Напряжённость пода в кг/м <sup>2</sup> ·час	Коэффициент полезного действия в %
	при полной нагрузке	при холостой работе				
600 × 460 × 450	17,5	13	130	135	—	21
900 × 900 × 600	50	31	155	320	—	18
1200 × 1350 × 750	90	51	147	600	370	19
1500 × 1200 × 750	100	56	155	610	355	18,5
1500 × 1500 × 750	126	71	152	820	365	19
1100 × 1000 × 750 <sup>1</sup>	40	23	120	330	300	23
2500 × 1000 × 1000 <sup>1</sup>	120	83	100	1200	300	26

Стахановское движение выдвинуло вопрос о приспособлении печного хозяйства к производительности стахановцев; это заставило, с одной стороны, пересмотреть скорости нагрева металла по линии увеличения их, с другой — частично переделать и механизировать печи. В результате этого возросла производительность, уменьшился удельный расход топлива и увеличился коэффициент полезного действия печи. Показатели удельного расхода топлива и напряжённости пода печей для нагрева заготовок под штамповку приведены в табл. 30<sup>2</sup>.

Таблица 30

Удельный расход топлива и напряжённость пода печей для нагрева заготовок под штамповку

Завод	Удельный расход топлива (мазута) на 1 т металла в кг	Напряжённость пода в кг/м <sup>2</sup> час
«ГАЗ» . . . . .	81,2 и ниже	470—602
Челябинский тракторный	65,0—51,7	495—875

Очевидно, что на производительность печи влияет толщина нагреваемых заготовок: чем толще заготовка, тем меньше отно-

<sup>1</sup> По данным М. Моугёней, Заводские печи. Для двух последних значений получены на основании испытаний рекуперативных печей, предложенных автором.

<sup>2</sup> Подробнее о расходе топлива см. В. Ф. Копытов, Печи для нагрева металла. Машиз, 1941.

ишенные поверхности к весу, т. е. более толстая заготовка воспринимает излучаемое печью тепло на относительно меньшую поверхность. Следовательно, нагрев толстых заготовок протекает медленнее; поэтому и производительность печи при нагреве таких заготовок уменьшается.

**Коэффициент полезного действия.** Другим показателем степени экономичного использования тепла в печах является коэффициент полезного действия. Мы знаем, что тепло, выделенное топливом при горении, расходуется в двух направлениях: на нагрев металла (полезное тепло) и на потери. Коэффициент полезного действия показывает отношение количества тепла, использованного на нагрев металла, ко всему количеству тепла сжигаемого топлива.

Допустим, например, что печь в течение часа нагревает 2 т стали до температуры  $1200^{\circ}$ , сжигая при этом 40 кг условного топлива. Тогда коэффициент полезного действия определится таким образом.

Количество тепла, использованного на нагрев стали, равно произведению теплоёмкости на температуру нагрева и вес металла, т. е.

$$0,168 \cdot 1200 \cdot 2000 = 40\,320 \text{ кал};$$

здесь 0,168 — теплоёмкость стали при температуре  $1200^{\circ}$ .

Тепло, выделенное топливом при сгорании, окажется равным

$$40 \cdot 7000 = 280\,000 \text{ кал},$$

где 7000 — теплотворная способность условного топлива.

Отсюда коэффициент полезного действия получится

$$40\,320 : 280\,000 = 0,144, \text{ или } 14,4\%.$$

Вообще коэффициент полезного действия кузнечных печей равен

Для камерных печей . . . . .	8—20%
Для методических печей . . . . .	15—30%

В табл. 29 указаны коэффициенты полезного действия камерных печей различного размера.

Необходимые мероприятия для лучшего использования тепла, в частности для уменьшения удельного расхода топлива и повышения коэффициента полезного действия печи, рассмотрены нами ранее. Очевидно, что у рекуперативной и регенеративной печи удельный расход топлива будет ниже, а коэффициент полезного действия выше, чем у простой камерной печи.

Это подтверждается и данными испытаний, приведёнными в табл. 29.

**Рентабельность работы печи.** Угар (образование окалины) при нагреве металла вреден не только в техническом, о чём мы уже упоминали, но и в экономическом отношении. Чем больше угар металла, тем менее экономично работает печь; часто потеря



металла с угаром (на окалину) гораздо более ощутима, чем пережог топлива. В отдельных случаях экономически 1% потери металла с окалиной равноценен 100% пережога топлива. К сожалению, это не всегда помнят и знают и потому не ведут нужной борьбы с угаром металла. Рассмотрим это подробнее.

Известно, что степень угара металла находится в большой зависимости от атмосферы печи: чем больше избыток воздуха при сгорании топлива, тем интенсивнее происходит окисление (угар) металла<sup>1</sup>.

Таким образом, стремление нагревать металл с меньшим угаром может привести к пережогу топлива; напротив, стремление сжигать топливо экономно (полное горение) может привести к значительному угару металла. Это обстоятельство ставит нагревальщика и других работников, заинтересованных в работе печи, в довольно затруднительное положение. В каждом случае небольшой расчёт поможет экономично решить предложенную задачу.

Например, требуется нагреть стальные заготовки дляковки стоимостью 500 руб. за 1 т. При нормальном угаре металла, равном 2%, потеря получится в сумме 10 руб. Если для нагрева 1 т стали потребуется сжечь 150 кг условного топлива, то при стоимости 1 т его в 35 руб. это составит расход в сумме 5 руб. 25 коп. Отсюда ясно, что в этом случае даже небольшое увеличение угара вызовет увеличение себестоимости поковки, превышающее всю стоимость топлива. Таким образом, учитывая техническую сторону нагрева и зная стоимость нагреваемого металла и топлива, можно найти наиболее выгодные условия в каждом случае.

## 6. Измерение температур

Из предыдущего видно, что температура нагрева металла имеет большое значение при ковке. Несмотря на это, до сих пор часто определяют степень нагрева «на-глаз» по цвету каления. Понятно, что такой способ определения температуры требует большого навыка, к тому же он и недостаточно точен.

Для точного измерения температур применяют конусы Зегера и особые приборы-пирометры.

**Конусы Зегера.** Конусы Зегера, применяемые для измерения температур, изготавливаются из огнеупорной массы различного состава с таким расчётом, чтобы каждый конус плавился при определённой температуре. При измерении температуры выбирают по специальной таблице номера конусов с точкой плавления, близкой к измеряемой температуре; закрепляют их огнеупорной глиной на кирпиче и сажают в печь. При температуре, на которую конус рассчитан, вершина его наклоняется вниз (фиг. 113).

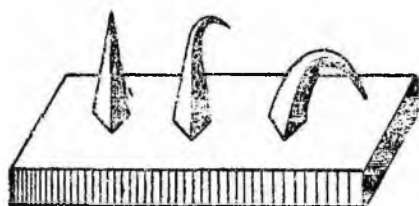
**Пирометры.** Наиболее удобными приборами при измерении высоких температур являются пирометры; из них широкое применение получили — термоэлектрические пирометры (термопары).

<sup>1</sup> Необходимо помнить, что 1% окиси углерода CO в дымовых газах соответствует пережогу топлива в количестве 3,7%.

оптические пирометры и радиоционные пирометры, называемые ардометрами.

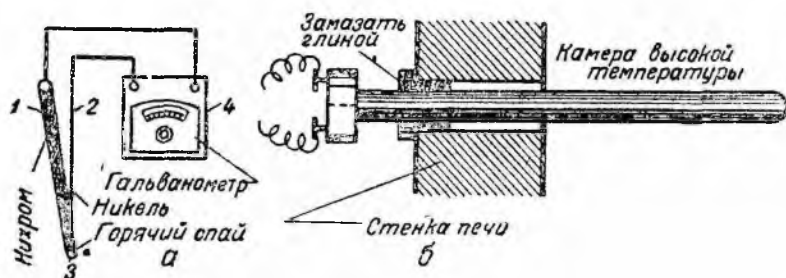
На фиг. 114 показана схема устройства термоэлектрического пирометра.

Действие этого пирометра основано на том, что при нагревании спая двух металлов появляется электрический ток. Вследствие этого берут две проволоки 1 и 2 (термопару) из различных металлов, спаянные концами (горячий пай) в точке 3, а другие свободные концы соединяют с чувствительным электроприбором—гальванометром 4, имеющим стрелку и шкалу с делением на градусы. Проволоки термопары изолированы одна от другой и помещены в защитный кожух, представляющий собой же-



Фиг. 113. Конусы Зегера

лезную трубку. Для измерения температуры термопара устанавливается в печи, как указано на фиг. 114. Под действием тепла спай те-



Фиг. 114. Термоэлектрический пирометр

мопары 3 будет нагреваться, образуя ток, и стрелка гальванометра укажет соответствующую температуру. Необходимо следить, чтобы холодные концы термопары не перегревались и находились при постоянной температуре цеха. Для термопар пригодны не все

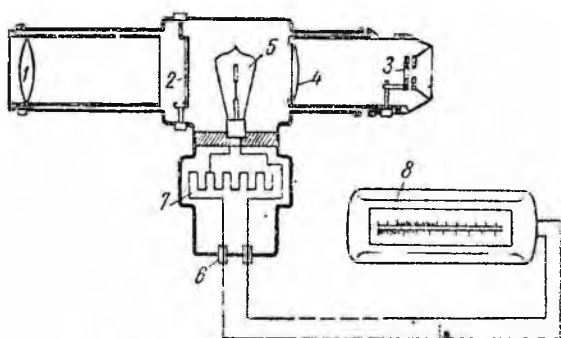
Таблица 31

Материалы термопар	Предельная измеряемая температура в °C	Рабочие пределы измеряемой температуры при стационарной установке в °C	Примечание
Медь-константан . . . . .	500	100—400	Первой указана проволока, дающая положительный, второй — отрицательный полюс
Железо-константан . . . . .	800	200—600	
Никель-нихром . . . . .	1100	350—1000	
Алюминий-хромель . . . . .	1200	350—1100	
Платина-платинородий . . . . .	1600	250—1300	

металлы; в табл. 31 приводятся наиболее распространённые термопары с указанием пределов измерения температур.

На фиг. 115 показан оптический пирометр. Устройство его основано на сравнении силы света, излучаемого измеряемым нагретым предметом, с силой света от предмета, температура накала которого нам известна.

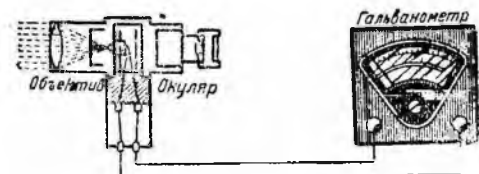
Пирометр состоит из зрительной трубы, внутри которой помещается объектив 1, линза 2, окуляр 3, красный светофильтр 4 и электролампа 5. Нить лампы накаливается электрическим током



Фиг. 115. Оптический пирометр

от батареи 6; изменяя напряжение тока посредством реостата 7, изменяют и накал до тех пор, пока цвет раскалённой нити не совпадёт с фоном измеряемого предмета, т. е. когда степень накала измеряемого предмета и нити будут равны.

Для настройки чёткости изображения (по глазу наблюдателя) окуляр 3 смонтирован в визирной трубке. Силу тока, необходимую для соответствующего



Фиг. 116. Ардометр

накала лампы, измеряют гальванометром 8, шкала которого градуирована в  $^{\circ}\text{C}$ . Оптический пирометр служит для периодических измерений температур в пределах от  $700$  до  $2000^{\circ}$  и благодаря своему удобству получил широкое распространение.

Радиационный пирометр, называемый ардометром (фиг. 116), состоит из зрительной трубки, внутри которой вправлен объектив. В фокусе объектива помещается зачернённый спай термопары, соединённый с очень чувствительным гальванометром.

При измерении температур ардометр устанавливают так, чтобы тепловые лучи, излучаемые нагретым предметом (стенкой печи, поковкой и пр.), собирались в фокусе объектива, т. е. на спайе термопары, и нагревали её. Это вызывает в термопаре электрический ток и стрелка гальванометра указывает соответствующую температуру.

Ардометры применяются преимущественно для измерения высоких температур, при периодическом и постоянном контроле. Удобны для заводской работы и за последнее время получили широкое распространение.

## СТАХАНОВСКАЯ РАБОТА У ПЕЧЕЙ

### 1. Общие сведения

Взять у каждого агрегата (печь, молот, станок и пр.) всё, что он может дать — вот основная задача работников предприятий, способствующих нашим дальнейшим успехам на фронте.

Внедрение новых, передовых методов работы стахановцев доказало, что с одного и того же производственного агрегата можно снять в несколько раз больше продукции, чем предусмотрено нормами.

Повышение скорости обработки, уменьшение припусков, механизация ручных процессов, совмещение нескольких операций в одну, одновременная обработка нескольких деталей, тщательная подготовка рабочего места, применение различных приспособлений — вот те пути, по которым идут стахановцы, добиваясь повышения производительности труда.

Для того чтобы хорошо освоить свою работу и свой агрегат (печь, молот, станок и пр.), необходимы знания. Цеховым работникам печного хозяйства они также помогут понимать и сознательно оценивать процессы, происходящие при работе печи. Основные, необходимые теоретические сведения для этого даны; дополним их рядом практических указаний. Совокупность тех и других поможет вести эксплуатацию кузнечной печи по-стахановски, с высокими производственными показателями.

### 2. Организация труда и рабочего места

Стахановская работа, давая огромное моральное и материальное удовлетворение работнику, не сопровождается большим утомлением. Необходимо, чтобы организация производства предприятия была на должной высоте, т. е. чтобы весь процесс работы и каждое рабочее место были обставлены в соответствии со стремлением работника дать наибольшую производительность. Этому в большой мере способствует показ результатов работы стахановцев. Тов. Бусыгин говорит: «Обязательно нужно у каждого рабочего места стахановца вывесить доски, на которых необходимо регулярно писать показатели его работы. Кроме этого необходимо организовать соревнование между отдельными кузнецами и сменно-встречное планирование».

Организация производства предприятия является весьма сложным делом, охватывающим все моменты, связанные с работой предприятия. Рассмотрение данного вопроса не входит в нашу задачу: нам необходимо лишь разобраться и установить те моменты, которые позволяют правильно организовать трудовой процесс и рабочее место у печи. Было бы ошибочно рассматривать организацию труда и рабочего места у печи только в отношении работы самой печи, потому что кузнечная печь является

лишь звеном самостоятельного производственного участка кузнечного цеха. Печь нагревает металл дляковки и таким образом её работа неразрывно связана с работой молота, прессы и т. п.

Следовательно, под организацией труда и рабочего места в данном случае надо понимать организацию работ на самостоятельном производственном участке кузнечного цеха, выпускающем продукцию в виде законченной поковки.

Для правильной организации работы необходимы следующие условия:

- 1) правильная расстановка рабочей силы;
- 2) обеспечение в достаточном количестве нужным исправным инструментом;
- 3) своевременная подача заготовок и уборка поковок;
- 4) исправное состояние агрегатов: печи, молота и прессы, а также подъёмно-транспортных устройств;
- 5) правильные приёмы работы на агрегате (условия нагрева и пр.).

*Расстановка рабочей силы.* Правильная расстановка рабочей силы является одним из решающих условий в работе, обеспечивающим наиболее полное использование агрегата (молота и т. п.), т. е. повышающим долю машинного времени<sup>1</sup>. Так, например, кузнецы-стахановцы Бусыгин и Фаустов при ковке колёчатых валов добились повышения доли машинного времени с 23 до 85 %. Для достижения такого результата необходимо освободить кузнеца от ряда подсобных работ: подноски материала, посадки заготовок в печь и др. Следовательно, надо разбить работу на ряд операций, выполнение которых должно быть строго распределено между работниками бригады; при этом необходимо добиться строгой согласованности в действиях или, как говорят, создать ритм в работе. Всё должно быть направлено к продуктивной трате времени, а отсюда и к повышению производительности. Нужно помнить, что время, затрачиваемое на отдельные операции, из которых складывается работа, составляет в большинстве случаев доли минут. В табл. 32 приведена норма времени на штамповку ключа.

Из табл. 32 видно, что норма времени на штамповку ключа равняется 30,1 сек., причём за этот короткий промежуток времени должно быть осуществлено шесть операций. Отсюда ясно, какое громадное значение имеет согласованность действий в работе — ритм; всякое лишнее движение увеличит непроизводительную трату времени и, следовательно, нарушит ритм и понизит производительность. По этому поводу кузнец-стахановец Васильев говорит: «Если каждый будет терять по одной минуте в час, то на троих (кузнец, подручный и нагреватель) это составит 3 мин. В среднем делаем 3 шатуна в минуту, значит за 21 мин. не доладим 63 шатуна. А потерять минуту в час нетрудно. При каждом лишнем движении теряются секунды, а за смену набегит

<sup>1</sup> Повысить долю машинного времени — значит заставить молот или другой агрегат больше работать.

Таблица 32

## Норма времени на штамповку ключа

Наименование операций	Время в сек.
Поднести заготовку к печи . . . . .	2,1
Заложить заготовку в печь . . . . .	2,0
Вынуть заготовку из печи . . . . .	2,0
Поднести заготовку к молоту и заложить в штамп . . . . .	2,6
Отштамповать деталь . . . . .	19,8
Бросить деталь . . . . .	1,6
Всего . . . . .	30,1

полчаса и больше. Поэтому большое значение имеет организация рабочего места».

Приведённая в табл. 32 норма времени на штамповку ключа предусматривает работу без нагревательщика. Выясним, целесообразно ли это. Следует помнить, что стоимость рабочей силы составляет незначительную долю от полной стоимости поковки; так, например, при массовом производстве поковок стоимость рабочей силы редко превышает 10% от полной стоимости поковки. В рассматриваемом случае наличие нагревательщика позволит освободить кузнеца от выполнения трёх первых операций при штамповке. Тогда работа кузнеца будет перекрываться работой нагревательщика и это приведёт к уменьшению нормы на:

$$2,1 + 2,0 + 2,0 = 6,1 \text{ сек.},$$

т. е. на 20%. Ясно, что производительность кузнеца возрастет на ту же величину. Таким образом, незначительное увеличение расхода на рабочую силу даст большое увеличение производительности и потому наличие нагревательщика в данном случае весьма целесообразно. Эта целесообразность увеличивается ещё тем, что нагревательщик обеспечивает лучшую эксплуатацию печи как в отношении экономного сжигания топлива, так и в отношении правильного нагрева металла и, кроме того, он может быть использован на ряде вспомогательных операций.

Так же можно проверить целесообразность вспомогательных рабочих и в каждом другом отдельном случае.

Правильная расстановка рабочей силы увеличивает использование молота в работе, а следовательно, и производительность цеха.

**Обеспечение инструментом.** Неисправный инструмент или недостаточное количество инструмента вызовут простой молота в работе, увеличат опасность её и пр. Подготовка и смена инструмента должны производиться заблаговременно. Инструмент около рабочего места должен быть расположен так, чтобы рабочий в любой момент мог взять нужный ему инструмент без лишних

движений и траты времени. Как штампы, так и боёк молота должны тщательно устанавливаться, закрепляться и периодически проверяться.

Большое значение имеет правильный уход за инструментом. Например, т. Бусыгин внёс в этом направлении рационализаторское предложение, о котором рассказывает следующее: «Каждую смену обязательно приходилось менять штампы. Смазывали мы их просто нефтью. Нефть горит, штамп ещё больше нагревается и сам кузнец становится от этого грязным. Я попробовал применить соляной раствор, думая этим избавить кузнеца от грязи. Но оказалось, что это привело к совершенно неожиданному результату. Когда штампы стали мочить в соляном растворе, никакой накипи не получалось. Проработали смену, штамп стоял как ни в чем не бывало. Промерили размеры и форму шаблоном — штамп оказался как новый. В результате этого небольшого мероприятия добились того, что штампами стали работать несколько смен».

*Подача материала и уборка поковок.* Организация подачи заготовок и уборка готовых поковок, а также правильная отбраковка, сортировка и укладка их у рабочего места являются необходимыми условиями стахановской работы, намного сокращают лишние движения и повышают производительность работы.

Наоборот, небрежная укладка (в проходах и пр.) заготовок и поковок не только мешает работе, но и увеличивает возможность несчастных случаев.

Кроме того, нельзя складывать горячие поковки на сквозняке, так как быстрое неравномерное остывание их может привести к образованию трещин и к частичной закалке со всеми вытекающими отсюда нежелательными последствиями.

Ответственные поковки из спецсталей особенно необходимо оберегать от быстрого неравномерного остывания, поэтому вокруг места их укладки создают «защиту» из специальных щитов.

*Исправное состояние агрегатов.* Исправное состояние производственных агрегатов (печей, молотов и т. п.) в основном обеспечивается системой плано-предупредительного ремонта оборудования.

На тех заводах, где плано-предупредительного ремонта нет, вынужденные простои оборудования (вследствие неисправностей) — обычное явление.

Каждый рабочий (нагревательщик, машинист и пр.), в ведении которого находится агрегат, правильно управляя им, продлит срок его службы и сократит вынужденные простои.

Для этого же следует:

- 1) завести книгу на один или несколько агрегатов, в которую записывать требования о ремонте или нужных приспособлениях;
- 2) тщательно принимать агрегат от предыдущей смены, а также после ремонта.

*Условия нагрева металла.* Нагревательщик должен соблюдать следующие основные условия при нагреве металла:

- 1) перед посадкой материала в печь заранее договориться с

мастером о режиме нагрева: скорости, температуре, предварительном подогреве и пр.;

2) не допускать посадки в печь материала, покрытого льдом и вообще только что доставленного в цех со склада;

3) следить за правильной загрузкой печи и укладкой материала «на поду», не допуская укладки заготовок вплотную;

4) производить своевременную кантовку заготовок;

5) при посадке заготовок в печь и выдаче их дляковки открывать заслонку рабочего окна на возможно меньшую величину;

6) нагревать металл мягким пламенем — «пылом»;

7) держать в рабочей камере печи положительное давление, не допуская засоса наружного холодного воздуха;

8) нагревать материал согласно заданному режиму (особенно слитки и крупные заготовки углеродистых и специальных сталей);

9) не нагревать материала выше установленной температуры;

10) не передерживать материала в печи сверх установленного для нагрева времени;

11) не оставлять материала в горячей печи на ночь и пр.

### 3. Управление печами

*Подготовка к разогреву.* Вновь построенная или прошедшая капитальный ремонт печь должна быть перед пуском в работу тщательно осмотрена и затем подготовлена для разогрева до высокой температуры. Подготовка заключается в просушке кладки печи на воздухе и огне. Для чего необходима эта просушка? Нам известно, что связывающий раствор кладки, заполняющий её швы, содержит значительное количество воды; поэтому при быстром разогреве вода в кладке начнёт бурно испаряться, что приведёт к разрыву кладки. Кроме того, огнеупорный материал (кирпич), из которого сложена печь, вообще очень чувствителен к резкому изменению температуры и потому быстрый разогрев печи также может привести к образованию трещин. По всем этим причинам необходима предварительная просушка печи.

Для просушки печи открывают все дверцы, создавая этим свободный приток воздуха по всей печи. Продолжительность сушки колеблется от 1 до 5 дней в зависимости от времени года, размера печи и объёма ремонта.

Дальнейшая сушка печи производится огнём. Для этого протапливают печь дровами так, чтобы пламя заполняло всё пространство рабочей камеры. Продолжительность такой сушки 12—24 часа — в зависимости от размера печи и объёма ремонта. После перерывов в работе печи для небольшого ремонта и пр. воздушную просушку производить не следует. В этих случаях достаточно несколько прогреть кладку сжиганием дров, главным образом в той части печи, где производился ремонт.

Просушенную печь переводят на рабочее топливо, постепенно разогревая её до нормального режима работы.

Разогрев печи после выходных дней можно вести смелее, ра-



бочим топливом, учитывая, что за короткое время кладка печи не успела остыть. Если при этом в печь посажен металл, то скорость разогрева необходимо вести согласно режиму нагрева для данного металла.

Разогрев печи и её дальнейшая нормальная работа должны протекать с соблюдением ряда условий и предосторожностей во избежание аварий (взрывов, обрушений свода печи, прогаров рекуператора и др.).

Рассмотрим основные практические условия для правильного разогрева и работы печи на топливе различных видов.

*Работа на твёрдом топливе.* Разогрев, нормальная работа и остановка печи на твёрдом топливе (угле) протекают следующим образом.

Заброска топлива (угля, торфа) производится небольшими порциями (3—7 лопат); особенно это надо соблюдать при разогреве, так как печь с холодными стенками увеличивает дымление. Необходимо следить, чтобы уголь равномерно распределялся на колосниковой решётке, и не допускать образования прогаров.

Равномерное горение в топке со ступенчатой колосниковой решёткой получается в том случае, если уголь выдерживается достаточное время на наклонной части решётки для постепенного выделения из него летучих. Поэтому не следует допускать преждевременного скатывания угля в низ топки. Очередные заброски топлива надо производить тогда, когда уголь на колосниковой решётке разгорится и закончится бурное выделение летучих.

Необходимо обеспечивать нормальный приток воздуха — первичного (в зольник) и вторичного (в топку), а также приток пара, причём во избежание сильного выбивания пламени из шуровочных отверстий при забросках топлива — несколько прикрывать первичный воздух. В противоположность этому приток вторичного воздуха (в топку) следует увеличивать и также увеличивать открытие дымового шиберы. Несоблюдение этих условий может привести к хлопкам (небольшим взрывам) в топке и к ожогам нагревальщика.

Топку надо вести на предварительно отсортированном угле (куски одинаковой величины), разбивая крупные куски и производя сортировку на месте, хотя бы при помощи вил.

Шуровку следует производить перед заброской и тем чаще, чем больше спекаемость угля. Необходимо помнить, что шуровка заключается в разрыхлении и разравнивании верхнего слоя топлива, а отнюдь не в перемешивании его. При разогреве печи шуровать следует не раньше, чем на колосниках образуется слой кокса толщиной не менее 100 мм.

При шлаковании колосниковой решётки нужно прорезать колосники резакон, чтобы дать нормальный доступ воздуха и спустить избыток шлака в зольник. Это надо делать очень осторожно, не допуская потери угля со шлаком.

При сжигании тощих углей и антрацита необходимо накопить шлак на колосниковой решётке, так как в этом случае

хорошее горение достигается сжиганием угля на шлаковой подушке.

**Чистка топки.** При сгорании угля остаются зола и старки; большое количество их может нарушить нормальную работу топки. Во избежание этого топку необходимо периодически чистить. Очередную чистку топки приурочивают к перерыву в работе, обычно же производят после окончания работы, чтобы не нарушать установленного производственного порядка в цехе.

Перед чисткой необходимо постепенно снижать интенсивность работы топки. Для этого постепенно уменьшают забрасывание топлива и, наконец, совсем прекращают его, с таким расчётом, чтобы запасом топлива, имеющимся в топке, обеспечить нормальную работу печи до перерыва.

Чистка топки — тяжёлая операция, требующая большого физического напряжения в условиях высокой температуры и выделений сернистого и угарного газа, могущих, привести к отравлению.

Чтобы обеспечить быстрое удаление этих газов, необходимо производить чистку при открытых шуровочной дверце и дымовом шибере.

**Работа на жидком и газообразном топливе.** Растопка печи на жидком и газообразном топливе должна производиться с особенной предосторожностью, во избежание серьёзных последствий от могущих произойти при этом взрывов.

Больше всего затрудняют горение холодные стенки печи. Особенно это сказывается при сжигании мазута. Только при достаточном прогреве хотя бы части кладки перед форсункой горение начинает протекать удовлетворительно.

Перед растопкой печи необходимо проверить:

1) в исправном ли состоянии и правильно ли установлены форсунки или горелки и дополнительные устройства к ним: газопровод, система нефтеснабжения, воздухопровод и дутьевой вентилятор;

2) плотно ли закрыты вентили и задвижки на воздухопроводе, газопроводе и нефтепроводе; в дальнейшем их следует открывать в строго установленном порядке;

3) удалён ли полностью воздух из газопровода во избежание взрыва.

Для вытеснения воздуха из газопровода служат специальные трубки, установленные в конце него. При пуске новой печи, а также после ремонта газопровода или печи необходимо обязательно производить эту проверку анализом газа.

Растопку холодной печи производят следующим образом.

Открывают дымовой шибер и все заслонки рабочих окон для предупреждения разрушений от возможного взрыва.

В топку перед форсункой или горелкой кладут сухие дрова (щепы, обломки досок и пр.)<sup>1</sup> и поджигают их факелом. При

---

<sup>1</sup> В небольших печах можно класть пропитанные мазутом куски пакли.

этом необходимо предварительно убедиться, нет ли на поду печи скопления мазута, протекшего через неисправный или плохо закрытый вентиль на нефтепроводе, так как это может привести к взрыву. При зажигании не следует стоять близко к отверстию для розжига и нельзя заглядывать в него. Факел для поджигания должен быть на прутке длиной не менее 1,5 м. Для облегчения зажигания полезно перед форсункой временно установить кирпич или железный щиток, в который будет ударяться горячая смесь.

Затем открывают все нефтяные (газовые) и воздушные задвижки и вентили, расположенные до форсунок (горелок) и перед рекуператором.

После того как растопка хорошо разгорится и прогреет топку (20—30 мин.), в одну из форсунок вводят небольшое количество воздуха (пара), а затем небольшое количество мазута с тем, чтобы получить небольшое, но устойчивое пламя. Дальше поочередно зажигают следующие форсунки или горелки.

По мере разогрева топки поочередно увеличивают приток воздуха и мазута до тех пор, пока не установится нормальное горение. Необходимо следить, чтобы распылённый мазут загорался в топке, иначе от скопления нефтяных паров или газа в смеси с воздухом может получиться в печи взрыв; это особенно возможно при растопке от факела плохо разогретой печи.

Растопка горячей печи, т. е. после непродолжительной остановки (при температуре в печи выше 700°) производится при открытом шибере и заслонках рабочих окон. Для этого сначала пускают в форсунку немного воздуха, затем мазута и т. д.

Появление при разогреве печей сизого едкого дыма указывает на излишек воздуха и в таком случае поступление воздуха в форсунку надо уменьшить. Появление чёрного дыма указывает на излишек мазута, и тогда необходимо уменьшить приток мазута в форсунку.

Когда печь растоплена и форсунки работают нормально, необходимо соблюдать следующие правила:

- 1) закрыть плотно все заслонки рабочих окон, после чего снова отрегулировать горение форсунками или горелками и шибером, чтобы создать в рабочей камере печи нужное пламя и положительное давление;

- 2) следить за достаточным подогревом мазута и воздуха, не допуская в то же время перегрева рекуператора;

- 3) в случае надобности снизить температуру в печи без вдувания воздуха;

- 4) при прекращении подачи мазута (газа) или воздуха немедленно закрыть нефтяной (газовый) вентиль, а затем воздушный.

При остановке печи необходимо, чтобы кладка печи остывала возможно медленнее, так как это увеличивает срок её службы и, кроме того, чем холоднее печь, тем больший расход топлива потребуется на её разогрев. Поэтому нужно постепенно

снижать форсировку печи, уменьшая подачу топлива и воздуха. Остановку горения форсунок или горелок следует производить, прекращая сначала подачу мазута (газа), а затем воздуха.

После прекращения горения необходимо дымовой шибер и заслонки печи закрыть; желательно также у заслонок замазать глиной все неплотности.

Холостая работа печи. В некоторых случаях (производственные неполадки в цехе, частичная неисправность печи и пр.) нормальная работа печи нарушается и её вынужденно, на короткое время, переключают на холостую работу. Очевидно, что при этом не следует прекращать горения, так как это приведёт к охлаждению печи, и она не сможет быть сразу переведена на рабочий режим по устранении неполадок. В этом случае необходимо лишь понизить интенсивность горения соответствующим уменьшением подачи топлива и воздуха до такого предела, чтобы за время простоя поддерживать печь в готовности к нормальной работе. При работе на твёрдом топливе вследствие уменьшения подачи воздуха возрастает опасность шлакования и это нужно предусмотреть, увеличив поступление пара под колосники.

Температура, атмосфера и давление в рабочей камере являются характерными внешними показателями работы печи. Практически по этим показателям и должна регулироваться работа печи. Но было бы ошибочно предполагать, что такое практическое суждение является исчерпывающим: нужны большой опыт и глубокое понимание процессов, протекающих в печи, чтобы достигнуть желаемого результата. Этому способствует систематический контроль за работой печи при помощи соответствующих приборов (пирометры, газоанализаторы и пр.). Также необходимо наблюдение по U-образному манометру за давлением газа и дутьевого воздуха.

За последние годы вопрос регулирования работы технических печей получил правильное разрешение установкой автоматического регулятора горения.

Содержание пода в исправном состоянии является одним из обязательных условий, облегчающих посадку и выдачу металла из печи. Причины разрушения пода из шамотового кирпича известны: под разъедается окалиной, или же на поду образуется нарост окалины, сначала в виде небольшого бугорка; если этот бугорок не удалить, то он вырастает в «гору», делающую работу невозможной. Условия, гарантирующие удовлетворительное состояние пода, следующие:

- 1) исправность рабочего окна и поддержание на поду печи положительного давления;
- 2) своевременное удаление окалины (раз в смену) и шлака;
- 3) правильная посадка заготовок в печь, т. е. без ударов о под.

---

<sup>1</sup> Пока широкого распространения, по ряду обстоятельств, эта установка не получила.

## УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ОЗДОРОВЛЕНИЯ ТРУДА

### 1. Общие сведения

*Техника безопасности.* Создание безопасности и оздоровление труда на производстве являются основной задачей техники безопасности и промышленной гигиены.

При этом техника безопасности не ограничивается только ограждением механизмов (станков, молотов и пр.), но и детально изучает производство и на базе этого стремится рационализировать рабочий процесс так, чтобы при наибольшей производительности создать наиболее безопасные условия труда. Конечная цель техники безопасности — добиться полной безопасности работы, т. е. исключить возможность несчастных случаев (травматизма).

Партия и правительство уделяют большое внимание технике безопасности и отпускают для этой цели огромные средства.

*Условия труда.* Неблагоприятные условия труда в ряде кузнечных цехов (с точки зрения безопасности и оздоровления) в значительной мере мешают дальнейшему росту производительности.

Одна из основных причин неблагоприятных условий — неудовлетворительное состояние нагревательных печей.

В результате этого:

1. В летние дни температура в рабочей зоне цеха в ряде случаев превышает  $40^{\circ}$ , интенсивность теплового излучения на отдельных рабочих местах достигает  $6 \text{ кал/см}^2$  и более в минуту.

2. Общее тепловыделение от печей, работающих с выбросом дыма в цех, достигает 80% от тепла, выделяемого при горении топлива.

3. Содержание в воздухе вредных газов CO на рабочих участках в отдельных случаях превышает допустимые концентрации (допустимо 0,02 мг CO в 1 л воздуха). Кроме того, ряд кузнечных работ (загрузка, выгрузка болванок,ковка) протекает в условиях высокой температуры (возможны ожоги) и сопровождается значительным физическим напряжением. В результате этого травматизм в кузнечных цехах может быть выше, чем в других.

Таким образом, основные мероприятия для оздоровления и безопасности труда должны проводиться в направлении:

- 1) борьбы с тепловыделением и газовыделением от печей;
- 2) борьбы с травматизмом от окалины;
- 3) рационализации загрузки и выгрузки заготовок;
- 4) рационализации ремонта печей.

Но при этом необходимо помнить, что благоприятные условия труда зависят прежде всего от поведения самого рабочего, т. е. знание и выполнение каждым рабочим правил и инструкций

по технике безопасности является обязательным условием безопасной работы.

Возможность травматизма во многом зависит от поведения самого рабочего: чем рациональнее построен трудовой процесс (без лишних движений, загромождённости и пр.), тем меньше возможность травматизма. Мы знаем, что рационально построенный трудовой процесс сопровождается высокой производительностью. И действительно, наблюдения за работой стахановцев показали, что случаи травматизма у них значительно реже, чем у других рабочих. Следовательно, борьба с травматизмом при обслуживании печей должна протекать прежде всего в направлении рационализации трудового процесса. Для уяснения этого вспомним, что трудовой процесс у печи складывается из следующих операций:

- 1) подача заготовок к печи; 2) посадка заготовок в печь;
- 3) выдача нагретых заготовок дляковки; 4) обслуживание печи.

Подача заготовок к печи при неаккуратном взятии их из штабеля или кучи может привести к несчастному случаю. Следовательно, при этой операции необходимо обратить внимание на исправное состояние тех приспособлений, которыми производится подача заготовок, на правильную укладку заготовок, на чистоту пути перемещения.

Площадки для укладки заготовок и поковок должны быть выделены из общей площади кузнечного цеха широкими полосами, нанесёнными краской на полу.

Остальные три операции рабочего процесса протекают в условиях высокой температуры, т. е. под действием лучеиспускания от печи и нагретого металла; при этом возможны ожоги, главным образом рук.

Безопасному выполнению данных работ помогают следующие мероприятия:

1. Рабочий должен иметь исправные рукавицы. Наблюдениями установлено, что в большинстве случаев причиной ожогов являются рваные рукавицы.

2. Длина кочерги для выгрузки нагретых заготовок должна быть не менее 2 м; держать её необходимо так, чтобы руки находились возможно дальше от печи.

3. Посадку заготовок в печь не следует производить «броском». Во избежание этого необходимо оборудовать печи соответствующими приспособлениями — монорельсами, рольгангами и пр.

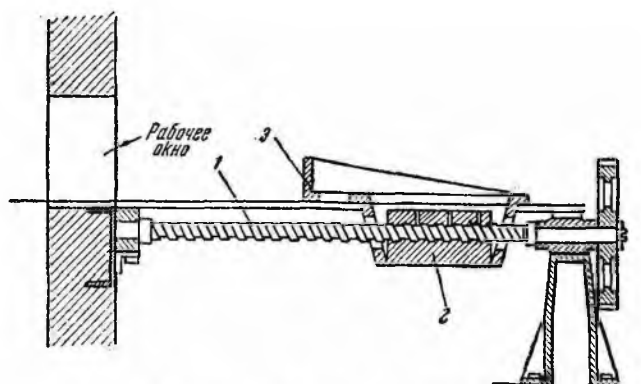
4. Кантовку заготовок нельзя производить мокрым ломом: соприкосновение мокрого лома со шлаком приводит к небольшому взрыву (хлопку), сопровождающемуся выбиванием пламени из печи.

5. Нагретую заготовку нужно выталкивать при помощи кочерги на стол или рольганг и отсюда подавать дляковки. Выбрасывать нагретую заготовку из печи нельзя, так как при ударе о пол от заготовки отскакивает и летит в разные стороны раскалённая окалина, причиняя ожоги и ранения. Для мелких

заготовок (под штамповку) необходимо предусмотреть устройство у печи наклонного жолоба. Для предупреждения отскакивания окалины в стороны нижний конец жолоба выгибают по кривой вверх, а с боков закрывают щитками.

## 2. Приспособления, облегчающие загрузку и выгрузку заготовок

Как уже отмечалось, загрузка и выгрузка заготовок требуют значительного физического напряжения и, кроме того, протекают в условиях «жара» от печи. Следовательно, здесь технике безопасности должно быть уделено особое внимание. В первую очередь должны проводиться мероприятия по механизации. Так, например, подача заготовок к печи и к молоту производится посредством мостовых электрических кранов, поворотных кранов,



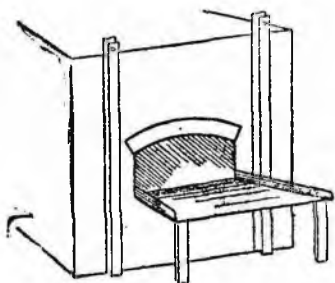
Фиг. 117. Винтовой механический толкатель

монорельсов и за последнее время — специальными загрузочными машинами. Кроме того, посадка заготовок в печь и выдача их облегчена рядом приспособлений.

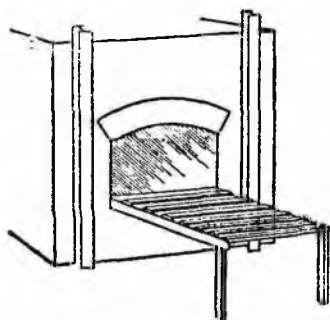
**Толкатели.** Основным условием для работы методических и полуметодических печей является равномерное продвижение нагреваемых заготовок по поду печи. Наиболее целесообразно и безопасно эту операцию производить посредством специального толкателя. Толкатели разделяются на гидравлические и электрические; первые приводятся в движение давлением воды или масла на поршень цилиндра, вторые — приводом от электромотора. Электрические толкатели удобны и получили наибольшее распространение; они разделяются на винтовые, реечные и рычажные; рассмотрим одну из этих конструкций.

Винтовой толкатель изображён на фиг. 117. Винт толкателя 1 получает вращение от мотора посредством зубчатых колёс. Вращение винта сообщает поступательное движение гайке 2 и скреплённому с ней тарану 3, которым заготовки продвигаются в печь.

Успех работы толкателя зависит главным образом от внимательного наблюдения за его исправностью, правильным действием

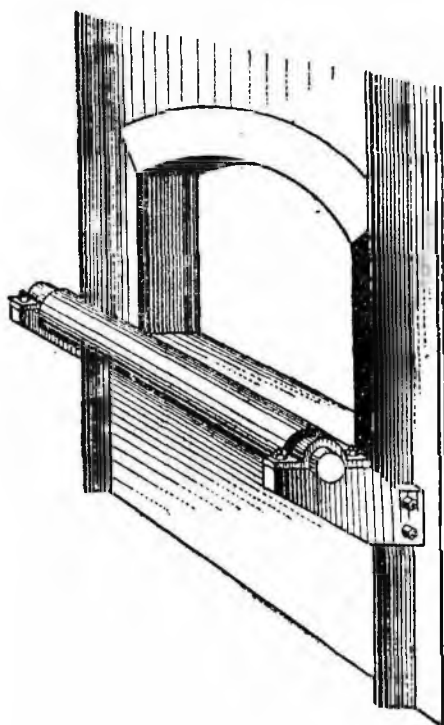


Фиг. 118. Загрузочный стол



Фиг. 119. Ролиганг, устанавливаемый перед рабочим окном печи

и исправным состоянием пода печи. Необходимо помнить, что при неисправном поде печи (ямы, бугры) или небрежной укладке заготовок (неровным рядом) нарушается правильное движение их по поду. Нельзя допускать перегрузку толкателя;



Фиг. 120. Ролик, устанавливаемый перед рабочим окном печи

для наблюдения за его работой устанавливаются: при гидравлическом толкателе манометр, показывающий давление в атмосферах, при электрическом — амперметр, показывающий силу тока в мперах. Предельно допускаемые показания стрелки данных приборов отмечены красной чертой. Неправильная работа толкателя вызывает резкие колебания стрелки прибора; это указывает на необходимость выяснить причину и устранить ее.

**Загрузочный стол.** Загрузка (посадка) в печь небольших заготовок „броском“ не только тяжела, но и приводит к разрушению рабочего окна и пода печи. Для облегчения этой операции следует перед рабочим окном устанавливать специальный стол



(фиг. 118), укладывать на него заготовки и, открыв рабочее окно, кочергой проталкивать их со стола в печь.

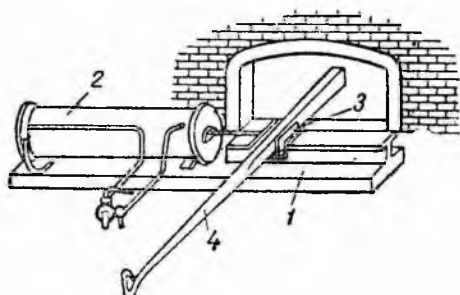
**Рольганг и ролик.** Загрузочный стол, собранный из свободно вращающихся роликов в виде небольшого рольганга (фиг. 119), ещё более облегчает проталкивание заготовок. Для удобства работы рольганг делают откидным. У печей, в которых преимущественно нагреваются длинные заготовки, иногда вместо стола или рольганга устанавливают перед рабочим окном один ролик (фиг. 120), по которому и проталкивают заготовку.



Фиг. 121. Загрузочный ролик

В этом случае и вообще при посадке длинной тяжёлой болванки рекомендуется подводить под неё ролик, насаженный на конец длинной штанги (фиг. 121).

**Кантователь.** Чтобы обеспечить равномерный прогрев по всей массе болванки, её необходимо своевременно кантовать (переворачивать). Эта, довольно тяжёлая, операция в большин-

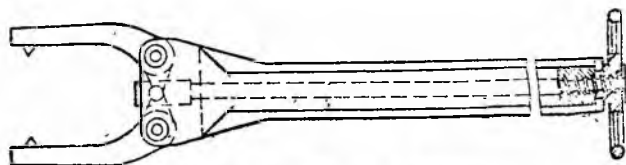


Фиг. 122. Кантователь

стве случаев производится вручную ломом и кочергой. Один из простых и хорошо работающих кантователей изображён на фиг. 122. Он состоит из станины 1, цилиндра 2 и тисок 3, в которые в нужном положении зажимается брус 4. Если брус подвести близко к верхней грани болванки и дать ему движение, впуская в цилиндр воду или сжатый воздух, то он

перевернёт болванку, если же подвести его ближе к нижней грани, то он будет только передвигать болванку.

**Посадочные клещи.** Посадка заготовок в печь и выдача их являются также одной из трудных операций. В большинстве случаев производится это посредством клещей, подвешенных к подъёмному устройству. На фиг. 123 показаны механические клещи, которыми удобнее вытаскивать крупные заготовки из печи. У данных клещей захват и освобождение заготовки производится поворотом маховичка.

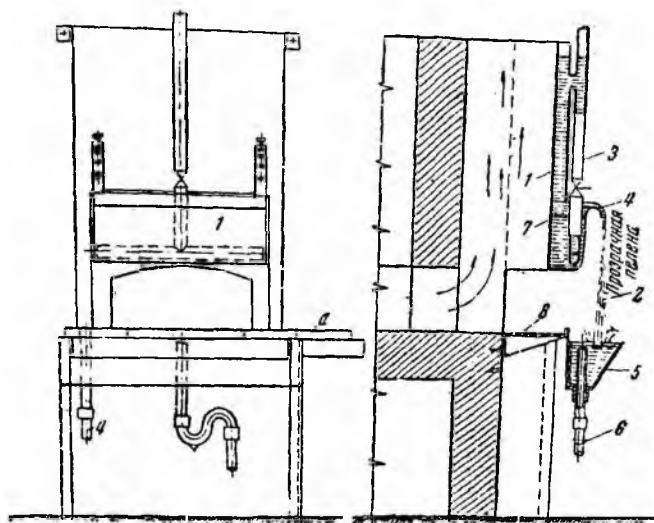


Фиг. 123. Посадочные клещи

### 3. Борьба с тепловыделением

Борьба с действием лучистой теплоты от печи и нагретого металла ведётся путём оборудования печей специальными устройствами, для этого служат:

1. Устройство обдувающей вентиляции в виде вееров, представляющих собой вращающиеся крылатки, которые устанавливаются около печи. Веера создают постоянный ток воздуха, что оздоравливает условия труда. При этом необходимо предусмотреть ограждение вееров специальными сетками<sup>1</sup>.



Фиг. 124. Водяная завеса

2. Водяные завесы у печей; они являются весьма эффективным мероприятием в борьбе с теплоизлучением и делаются или чисто водяные или водовоздушные.

3. Воздушные отбойники (отражатели), которые, препятствуя выбиванию газов через рабочие окна печи в цех, уменьшают тепловыделение и задымление цеха (фиг. 53).

4. Изоляция стенок печей различными малотеплопроводными материалами. Это способствует оздоровлению условий труда и экономному расходованию топлива (уменьшаются тепловые потери через стенки печи).

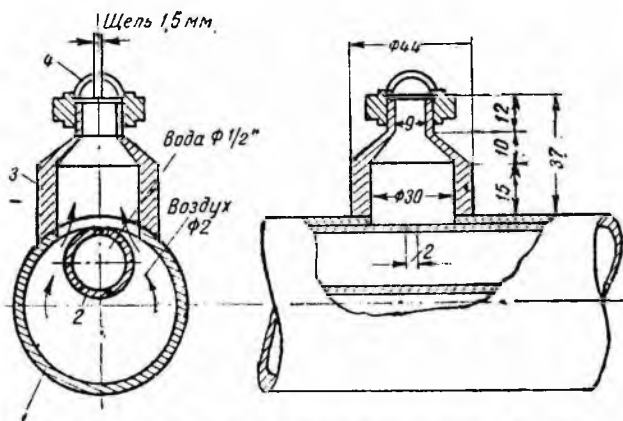
*Водяные завесы.* Водяные завесы понижают интенсивность теплоизлучения через рабочие окна печи в 5—8 раз.

Водяная завеса, показанная на фиг. 124, состоит из полого железного экрана (П-образной коробки), охлаждаемого водой, и собственно водяной завесы 2. Вода из водопровода по трубе поступает в полый экран 1, охлаждает его и по трубе 3 поступает в сливной жолоб 4. Из жолоба избыток воды сливается в

<sup>1</sup> Конструкция обдувающей вентиляции разработана Московским ин-том охраны труда.

виде прозрачной пелены в приёмное корыто 5 и отсюда в канализационную трубку 6 или в сборный резервуар для дальнейшего использования (фиг. 96). Прозрачность и целостность водяной завесы (пелены) зависят главным образом от состояния поверхности козырька сливного жолоба и правильной установки его по горизонтали. Для большей гарантии спокойного слива воды в жолобе 4 установлена сетка 7.

При малом притоке воды в жолоб 4 водяная завеса будет рваться; при слишком большом притоке воды завеса получается толстой и прозрачность её понижается. Как разогрев печи, так и дальнейшая работа её без пуска в действие воздушной завесы приведут к разрушению данного устройства.



Фиг. 125. Коллектор воздуховоздушной завесы

Расход воды для создания завесы требуется в объёме 3,5—4,5 м<sup>3</sup>/час на 1 пог. м ширины завесы<sup>1</sup>.

Значительный расход воды и другие причины мешают широкому внедрению водяных завес.

**Водовоздушные завесы.** С хорошим результатом было проведено испытание водовоздушной завесы<sup>2</sup>. Устройство состоит из коллектора-водораспылителя (фиг. 125), установленного перед рабочим окном печи. Коллектор посредством сжатого воздуха распыливает воду на мельчайшие частички (водяную пыль). Водовоздушный поток подаётся снизу вверх под некоторым углом к окну под зонт, установленный над печью. Предлагаемый коллектор прост в изготовлении; он состоит из двух водопроводных труб 1 и 2, вставленных одна в другую. Через трубку 1 диаметром 2" подаётся воздух, а через трубку 2 диаметром 1/2" — поступает вода.

В водяной трубе просверлены отверстия диаметром 2 мм, через них вода попадает в стояки 3, откуда распыливается возду-

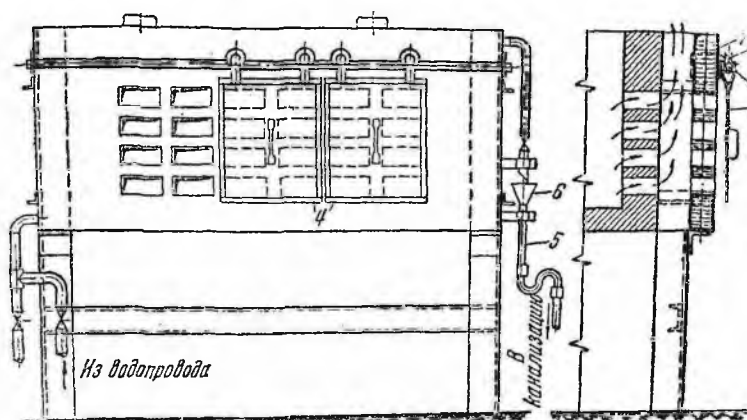
<sup>1</sup> А. Г. Аверьянов, Ленинградский ин-т охраны труда.

<sup>2</sup> Тбилисский ин-т охраны труда.

ком через щелевидные сопла 4. Стойки располагаются на трубе с расстоянием 200 мм друг от друга.

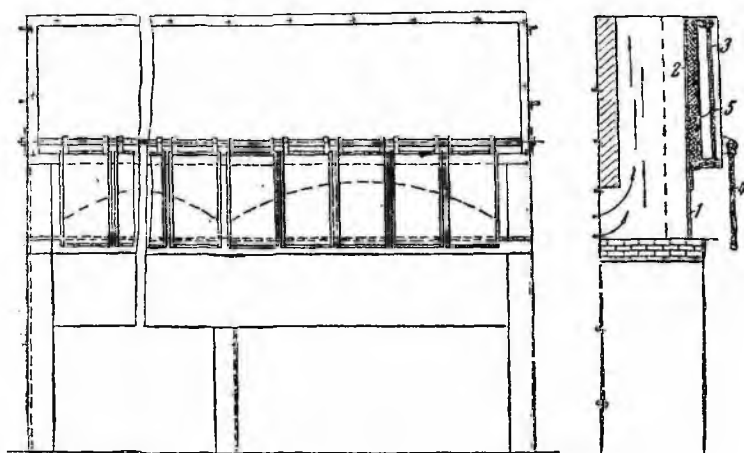
Образуемая завеса поднимается вверх на 2 м.

Средний расход воды составляет 7,2 л/час на один стояк коллектора. Расход воздуха 5 м<sup>3</sup>/час на один стояк, необходимое давление воздуха у коллектора 4—5 ат.



Фиг. 126. Защитное устройство от теплоизлучения для печи Роквелла с решётчатой стенкой

*Прочие защитные устройства от тепловыделения.* У печей, имеющих большое количество рабочих отверстий (решётчатые и щелевые печи Роквелла), наблюдается особенно значительное тепловыделение. В этом случае действенным мероприятием будет следующее устройство (фиг. 126)



Фиг. 127. Защитное устройство от теплоизлучения для щелевой печи Роквелла

<sup>1</sup> Для смягчения сотрясений рекомендуют ножки оборудовать пружинами (амортизаторами), ТЕРСО, серия 14, № 804/33, 1941.

Вместо передней решётчатой стенки устанавливается холодная железная коробка 1, охлаждаемая водой. Впереди неё подвешены на роликах 3 один или два щитка 4, которые по трубе 2 могут перемещаться и устанавливаться в нужном положении, в зависимости от того, через какие отверстия производится работа. Следовательно, при работе будет открыта лишь часть отверстий.

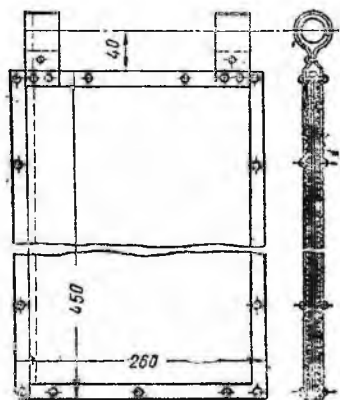
Как при разогреве печи, так и дальнейшей работе в коробку 1 должна быть пущена вода и обеспечен свободный слив её из коробки; в противном случае устройство быстро придёт в негодность. Кроме того, необходимо следить и за тем, чтобы вода в коробке 1 не перегревалась, для этого предусмотрена контрольная воронка 6 на трубе 5.

На фиг. 127 показано защитное устройство от теплоизлучения для щелевой печи. У этой печи теплоизлучение достигает  $7 \text{ кал/см}^2$  в 1 мин. К тому же лицевая стенка 2 доставляет много хлопот в отношении стойкости (быстро разрушается). В рассматриваемом случае стенка 2 сделана в виде железной коробки с набивкой огнеупорной массой. Для удержания массы в коробке предусмотрены «ерши» 5. Вместо набивки можно коробку заложить изоляционным кирпичом, нанизанным на железные прутки; концы последних привариваются к коробке.

Кроме того, целесообразно было бы на внешней поверхности стенки, обращённой к рабочему месту, крепить железный щит (экран) 3.

Рабочее окно печи (щель) следует закрывать рядом небольших откидных щитков 4 — многослойными экранами, в которых листы железа чередуются с листами асбеста (фиг. 128). При работе щитки откидываются только в нужной части печи.

Хорошим защитным средством от теплоизлучения заслонок рабочих окон являются щитки (экраны), устанавливаемые перед заслонкой. Очевидно, что лучший эффект дают также многослойные щитки.



Фиг. 128. Откидные щитки к щелевой печи Роквелла

#### 4. Ограждение печи

Заслонки рабочих окон печей обычно уравниваются посредством грузов (фиг. 75). Вследствие сотрясения печи от ударов молота не исключена возможность падения отдельных грузов с поддерживающей их чашки или с плеча балансира подъёмного механизма. Для предупреждения этого необходимо: в первом случае ограждать грузы специальным кожухом, чтобы груз при верхнем предельном положении не выходил из кожуха.

Во втором случае на конце плеча балансира следует устанавливать упор, который не даст грузу сползти с балансира и упасть.

За состоянием подъёмного механизма, заслонки и рабочего окна следует постоянно наблюдать. Исправное состояние их способствует плотному закрыванию рабочего окна, что уменьшает задымление и лучепускание в цех через рабочее окно печи. У механизированных печей, или оборудованных толкателями, необходимо по возможности ограждать движущиеся части и обязательно ограждать зубчатые и другие передачи.

Через шлаковое отверстие печи вытекающим из него шлаком и выбивающимся пламенем могут быть причинены ожоги. Для предупреждения этого необходимо шлаковое отверстие ограждать кожухом. Заливать шлак водой ни в коем случае не следует, так как соприкосновение шлака с водой приводит к взрыву с очень серьёзными последствиями. Место для выпуска шлака должно быть сухим, посыпано песком и ограждено. Выпущенный шлак следует возможно быстрее удалять из цеха.

*Предупреждение аварий.* Самой серьёзной аварией, могущей произойти с работающей печью, является обрушение свода. Причиной этого могут быть неправильности при конструировании и постройке печи, или отсутствие своевременного ремонта.

При обрушении свода следует немедленно погасить огонь в топке (песком и пр.). Заливать печь водой в таких случаях опасно, так как это может привести к взрыву. Вообще всякие загорания жидкого топлива необходимо гасить песком.

Серьёзное внимание необходимо уделять подогреву мазута, особенно парафинистого, не допуская перегрева его выше установленной температуры. При осмотре нефтяных баков нельзя пользоваться открытым огнём (факелом, свечей и пр.), так как это может привести к взрыву. При осмотрах или ремонте горячей печи, требующих пребывания рабочего на своде, необходимо на свод печи укладывать настил во избежание провала рабочего через свод в горячую печь.

Приведённые сведения по технике безопасности не являются исчерпывающими, а намечают лишь основные мероприятия для безопасной работы, которые должны дополняться личной инициативой рабочего, добросовестным выполнением преподаанных инструкций, повседневным инструктажем и пр.

## Г л а в а XII

### РАБОТА КУЗНЕЧНОГО ЦЕХА

#### 1. Основы нормирования

Производственные нормы являются не только показателем хорошего использования рабочей силы, но и стимулом для высокопроизводительного, культурного труда.

*Технически обоснованные нормы.* Метод подсчёта технически обоснованных норм заключается в следующем.

Весь процесс изготовления детали разбивают на операции и затем определяют продолжительность каждой операции. Сумма всех показателей времени и даёт технически обоснованную норму.

Порядок определения нормы таков: прежде всего разрабатывается технологический процесс на изготовление детали, т. е. устанавливаются порядок и методы обработки; далее, разработанный технологический процесс разбивается на такие составные части, трудоёмкость которых может быть определена или путём подсчёта или на основании опытных данных. При разработке норм выявляют и устраняют могущие встретиться неполадки, т. е. рационализируют рабочий процесс; это является одной из положительных сторон технического нормирования.

С развитием стахановского движения технически обоснованные нормы разрабатываются на базе наибольшего использования мощности производственного оборудования (молотов, прессы и т. п.) с таким расчётом, чтобы полученные нормы были средними между выработкой стахановцев и выработкой тех рабочих, которые не достигли ещё стахановских темпов.

Необходимо помнить, что до развития стахановского движения производственные агрегаты использовались далеко не полно; так, например, машинное время (работа молота) составляло всего лишь 15—20% нормы. Поэтому работа самих агрегатов представляет собой один из источников для повышения производительности.

Рассмотрим, в какой степени работа печи отражается на определении и выполнении норм.

В правильно построенном рабочем процессе кузнечного производства «ожидание» нагрева не должно входить в норму. Нужно спланировать рабочий процесс так, чтобы к каждому моменту начала работы под молотом заготовка была достаточно нагрета.

Ожидание нагрева может быть результатом или малой производительности печи или плохой эксплуатации её по вине нагревальщика. Как правильно эксплуатировать печь, было указано выше. Добавим лишь, что при нагреве заготовок не следует полностью вырубывать нагретую партию с последующей садкой новой холодной партии и ждать нагрева всего «залога»; гораздо рациональнее, выдавая одну заготовку дляковки, тотчас же закладывать в печь другую, холодную. Этим достигаются большая производительность печи и равномерный нагрев заготовок.

## 2. Себестоимость продукции

*Общие сведения.* Успех работы или рентабельность производственного предприятия определяется качеством и себестоимостью выпускаемой продукции. Понятно, что недостаточно выпускать продукцию только высокого качества, необходимо ещё, чтобы себестоимость этой продукции была наименьшей. Кроме того, необходимо, чтобы себестоимость снижалась регулярно из месяца в месяц. Снижение себестоимости продук-

нии увеличивает внутрипромышленные накопления и обеспечивает рост предприятия, а следовательно, и его рентабельность.

Из каких расходов складывается себестоимость производственной продукции?

Себестоимость складывается из прямых и накладных расходов.

К прямым расходам относятся:

1) стоимость материала (слитка или заготовки);

2) стоимость прямой рабочей силы, занятой непосредственно изготовлением продукции;

3) стоимость топлива, сжигаемого для нагрева металла.

Все прочие расходы относятся к накладным расходам, которые в свою очередь делятся на цеховые накладные расходы и общезаводские.

К цеховым накладным расходам относятся расходы на ремонт оборудования, энергию (электричество, пар, воздух и пр.), зарплату подсобным рабочим и служащим и пр.

К общезаводским накладным расходам относятся зарплата служащим заводу управления, оплата налогов и пр.

Работа любого цеха завода протекает по определённом, заранее разработанному на каждый месяц заданию — техпромфинплану, в котором приводятся все показатели и нормы, определяющие работу цеха.

Рассмотрим на примере, как определяется себестоимость одной тонны выхода готовых поковок.

*Прямые расходы.* Прямые расходы складываются из стоимости материала, прямой рабочей силы и топлива. Стоимость материала является одной из основных статей расхода в кузнечном производстве и определяется выходом годных поковок из единицы веса (обычно 1 т) заготовок или слитка. Так, например, в одном случае из 1 т заготовки можно получить 0,5 т годных поковок, в другом — 0,85 т; очевидно, что во втором случае соответственно уменьшится и стоимость материала.

Понятно также, что чем дороже металл, тем более экономно надо его использовать, чтобы получить больший выход годных поковок.

Предположим, что выпуск годного составляет 50%, или 500 кг на 1 т заготовки или слитка. Следовательно, для получения 1 т выхода годного необходимо израсходовать материала

$$1 : 0,5 = 2 \text{ т.}$$

При цене 1 т заготовки 200 руб. стоимость материала на 1 т выхода годного составит

$$200 \cdot 2 = 400 \text{ руб.}$$

В рассматриваемом случае отходы составляют половину израсходованного материала, т. е. 1 т. Будем считать, что из этого количества отходов 900 кг идут в переплавку по цене 30 руб. за 1 т; тогда себестоимость выхода годного от этого уменьшится на

$$0,9 \cdot 30 = 27 \text{ руб.}$$



и стоимость материала, израсходованного на 1 т выхода годного, составит

$$400 - 27 = 373 \text{ руб.}$$

Стоимость производственной рабсилы (зарплату) на 1 т выхода годного в рассматриваемом случае принимаем в 40 руб.

Стоимость топлива при цене 35 руб. за 1 т и расходе 300 кг. (условного) на 1 т выхода годного составит

$$35 \cdot 0,30 = 10 \text{ р. } 50 \text{ к.}$$

Таким образом, прямые расходы на 1 т выхода годных поковок определяются суммой:

Материал . . . . .	373 р. 00 к.
Производственная работа . . . . .	40 » 00 »
Топливо . . . . .	10 » 50 »

---

Итого 423 р. 50 к.

*Накладные расходы.* Накладные расходы, как было указано, складываются из цеховых и общезаводских расходов.

Цеховые накладные расходы учитывают все косвенные издержки, связанные с работой цеха. Начисляются они обычно в виде определённого процента от единицы заработной платы производственных рабочих. Этот процент выводится на основании подсчёта фактических расходов за определённый отрезок времени (месяц, квартал). Таким образом, если принять цеховые накладные расходы равными 300% от производственной зарплаты, то это на 1 т выхода годного составит

$$40 \cdot 300 : 100 = 120 \text{ руб.}$$

Общезаводские накладные расходы составляют 60—70% от суммы заработной платы производственных рабочих. Следовательно, эта статья расходов повысит себестоимость выхода годных поковок на

$$40 \cdot 60 : 100 = 24 \text{ руб.}$$

Таким образом, полная себестоимость 1 т выхода годных поковок определится в следующей сумме:

Прямые расходы . . . . .	423 р. 50 к.
Накладные цеховые расходы . . . . .	120 » 00 »
Накладные общезаводские расходы . . . . .	24 » 00 »

---

Итого 567 р. 50 к.

*Снижение себестоимости.* Установим теперь, какие из статей расхода и какими мероприятиями необходимо уменьшать, чтобы способствовать снижению себестоимости продукции.

Материал может быть использован для снижения себестоимости путём всемерного сокращения норм его расхода. Это достигается уменьшением припусков на обработку, а также сокращением отходов (обрубка), брака и угара при нагреве.

Если отходы металла в виде обрубков заусенцев и прочего еще и можно использовать, возвратив их для переплавки в мартеновские печи, то угар представляет собой безвозвратную потерю металла. Меры борьбы с этой потерей нам известны — это правильная эксплуатация правильно построенной печи. Таким образом, качество работы нагревательщика существенно отражается на экономике работы цеха и предприятия в целом. Действительно, если в рассматриваемом случае, при стоимости металла 200 руб. за 1 т, нагревательщик уменьшит угар на 1%, то он тем самым снизит себестоимость 1 т поковки на 2 руб.; при годовом выпуске продукции в несколько тысяч тонн это даст значительную экономию.

Топливо как статья расхода сильно влияет на себестоимость продукции. Так как экономное сжигание топлива во многом зависит от нагревательщика, то и в этой части качество работы нагревательщика отражается на себестоимости продукции.

Выполнение программы цехом сказывается на себестоимости продукции решающим образом. Если программа не выполнена, то это резко увеличивает накладные расходы на 1 т выхода годных поковок, ввиду того, что отдельные статьи этих расходов (содержание служащих, отопление, освещение, ремонт здания и пр.) остаются неизменными.

Стоимость рабочей силы также существенно влияет на себестоимость: перерасход по зарплате увеличивает себестоимость.

Мы рассмотрели только основные статьи расходов, сильно влияющие на себестоимость. Но и другие расходы, как, например, простои оборудования, стоимость пара, неиспользование отходов и т. д., тоже влияют на себестоимость и представляют скрытые возможности для её снижения, а следовательно и для рентабельной работы цеха и всего предприятия.

---

## ЛИТЕРАТУРА

- Под редакцией академика Н. Н. Доброхотова, Печи для нагрева металла, Машгиз, 1941.
- Мариенбах Л. М., Теория и конструкция заводских печей, Машгиз, 1940.
- Кузмин М. А., Основы теории печей, ОНТИ, 1937.
- ВНИТОКШ, Тезисы докладов 1-го Всесоюзного съезда, Машгиз, 1940.
- Линчевский В. П., Металлургические печи, Москва, 1936.
- Линчевский В. П., Топливо и его сжигание, Москва, 1938.
- Глинков М. А., Прокатные и кузнечные печи, Машгиз, 1936.
- Глинков М. А., Методы расчёта промышленных печей, ОНТИ, 1938.
- Стальпроект, Справочник конструктора печей, Москва, 1936.
- Тайц П. Ю., Миллер А. И. и Тов В. Б., Нагрев металла в нагревательных печах, Харьков, 1939.
- Тринкс В., Промышленные печи, ч. I и II, Ленинград, 1934.
- Касенков М. А., Кузнечный горн с двойной естественной вытяжкой, «За экономию топлива», № 7, 1944.
- ЦНИИТМАШ, Материалы по экономии топлива в печах, Машгиз, 1938.
- Лекарев А. К., Рациональное сжигание топлива в кузнечных печах, «Вестник металлопромышленности», № 8, 1938.
- Куроедов В. А., Реконструкция печного хозяйства кузницы ГАЗ, Материалы по наладке кузнечных печей и машин, сборник работ ЦНИИТМАШ, стр. 145, 1937.
- Кац, Перевод промышленных печей с мазута на антрацит, Ленинград, ВНИТОЭ, 1939.
- Вассиль, Отопление печей горизонтально-ковочных машин низкокалорийным газом.
- Копытов В. Ф. и Сорокин П. В., Скорость нагрева стали, Материалы по наладке кузнечных машин и печей, стр. 128, 1937.
- Лемлек И. М., Рекуператоры для нагревательных печей, Ленинград, 1933.
- Маслов, Трубчатые воздухонагреватели, «Тепло и сила», № 10—11, 1940.
- Орловский З. Э., Изоляция промышленных печей, ВНИТОЭ, 1940.
- Зайцев Я. Н., О неупорядоченной кладке металлургических печей, Москва, 1936.
- Савченко И. Г. и Белецкий П. А., Кладка и ремонт металлургических печей, Харьков, 1937.
- Радемахер, Многоструйные пылеугольные горелки, «Новости иностранной металлургии», № 4, 1937.
- Эфрос М. М., Конструкция и работа промышленных печей на газе, Ленинград, 1939.

Весы одного метра длины заготовок квадратного,  
(толщина квадратной и шестигранной заготовки

Толщина в мм	Вес в кг/м			Толщина в мм	Вес в кг/м		
	□	⬡	○		□	⬡	●
5	0,196	0,170	0,154	34	9,075	7,859	7,127
6	0,283	0,245	0,222	36	10,174	8,811	7,990
7	0,385	0,333	0,302	38	11,335	9,817	8,903
8	0,502	0,435	0,395	40	12,560	10,878	9,865
9	0,636	0,551	0,499	42	13,847	11,992	10,876
10	0,785	0,680	0,617	44	15,198	13,162	11,936
11	0,950	0,823	0,746	46	16,611	14,385	13,046
12	1,130	0,979	0,888	48	18,086	15,663	14,205
13	1,327	1,149	1,042	50	19,625	16,945	15,413
14	1,539	1,332	1,208	52	21,226	18,383	16,671
15	1,766	1,530	1,387	54	22,891	19,821	17,978
16	2,010	1,740	1,578	56	24,618	21,320	19,335
17	2,296	1,963	1,782	58	26,407	22,870	20,740
18	2,543	2,203	1,998	60	28,260	24,474	22,195
19	2,834	2,454	2,226	62	30,175	26,133	23,700
20	3,140	2,719	2,466	64	32,154	27,846	25,253
21	3,462	2,998	2,719	66	34,195	29,614	26,856
22	3,799	3,290	2,984	68	36,298	31,436	28,509
23	4,153	3,596	3,261	70	38,465	33,312	30,210
24	4,522	3,916	3,551	72	40,694	35,243	31,961
25	4,906	4,243	3,853	74	42,987	37,223	33,762
26	5,307	4,596	4,168	76	45,342	39,267	35,611
27	5,723	4,966	4,495	78	47,759	41,361	37,510
28	6,154	5,330	4,834	80	50,240	43,509	39,458
29	6,602	5,717	5,185	85	56,716	49,118	44,545
30	7,063	6,118	5,549	90	63,585	55,067	49,940
32	8,088	6,961	6,313	96	70,846	61,355	55,643

# ПРИЛОЖЕНИЕ

шестигранного и круглого сечения  
соответствует диаметру вписанного круга)

Толщина на в мм	Вес в кг/м			Толщина на в мм	Вес в кг/м		
	□	⬡	○		□	⬡	○
100	78,500	67,983	61,654	235	433,516	375,437	340,483
105	86,546	74,951	67,973	240	452,160	391,583	355,126
110	94,985	82,260	74,601	245	471,196	408,068	370,077
115	103,816	89,908	81,537	250	490,625	424,894	385,336
120	113,040	97,896	82,781	255	510,446	442,060	400,904
125	122,656	106,224	96,334	260	530,660	459,565	416,779
130	132,665	114,891	104,195	265	551,266	477,411	432,963
135	143,066	123,899	113,364	270	576,265	495,597	449,456
140	153,860	133,247	120,841	275	597,656	514,022	466,257
145	165,046	142,914	129,627	280	615,140	532,988	483,365
150	176,625	152,962	138,721	285	637,616	552,193	500,783
155	188,596	163,329	148,123	290	660,185	571,738	518,508
160	200,960	174,036	157,804	295	683,146	591,623	536,542
165	213,716	185,084	167,852	300	706,500	611,848	554,884
170	226,865	196,471	178,179	305	730,246	632,413	573,534
175	240,406	208,198	188,815	310	754,385	653,318	592,493
180	254,340	220,265	199,758	315	778,916	674,563	611,759
185	268,666	232,638	211,010	320	803,840	696,148	631,334
190	283,385	245,419	222,570	325	829,156	718,071	651,218
195	298,496	258,506	234,438	330	854,865	740,336	671,409
200	314,000	271,902	246,615	335	880,960	762,940	691,909
205	329,896	288,927	259,100	340	907,460	785,885	712,717
210	346,185	299,805	271,893	345	934,346	809,169	733,834
215	362,866	314,251	284,994	350	961,625	832,793	755,258
220	379,440	329,037	298,404				
225	397,406	344,164	312,122				
230	415,265	359,681	326,148				

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Глава I. Краткие сведения о кузнечном производстве . . . . .	5
1. Ковка металлов (5). 2. Виды ковки (6). 3. Нагрев металла при ковке (7)	
Глава II. Металлы . . . . .	8
1. Общие сведения (8). 2. Сведения о производстве чёрных металлов (9). 3. Сталь, её свойства, примеси и строение (12). 4. Слитки и заготовки (17). 5. Сорта и марки стали (22).	
Глава III. Топливо . . . . .	27
1. Общие сведения (27). 2. Состав топлива (30). 3. Виды и сорта топлива (33).	
Глава IV. Сжигание топлива . . . . .	38
1. Горение топлива (38). 2. Сжигание твёрдого топлива (43). 3. Сжигание жидкого топлива (55). 4. Сжигание газообразного топлива (67). 5. Регулирование хода печей (72)	
Глава V. Печи кузнечного производства . . . . .	75
1. Кузнечные горны (75). 2. Устройство и подразделение печей (78). 3. Малые печи (81). 4. Средние печи (84). 5. Большие печи (95).	
Глава VI. Постройка и ремонт печей . . . . .	97
1. Материалы (97). 2. Кладка печей (100). 3. Ремонт печей (107).	
Глава VII. Устройство для сбережения топлива в печах . . . . .	109
1. Воздухонагреватели (109). 2. Пути дальнейшего использования отбросного тепла печей (118).	
Глава VIII. Вспомогательные устройства у печей . . . . .	119
1. Подача топлива (119). 2. Размер трубопроводов (124).	
Глава IX. Работа кузнечной печи . . . . .	125
1. Использование тепла (125). 2. Явления, происходящие в металле при нагреве и ковке (132). 3. Время и температура нагрева металла (141). 4. Отжиг и нормализация (146). 5. Показатели работы печи (148). 6. Измерение температур (151).	
Глава X. Стахановская работа у печей . . . . .	154
1. Общие сведения (154). 2. Организация труда и рабочего места (154). 3. Управление печами (158).	
Глава XI. Условия безопасности и оздоровления труда . . . . .	163
1. Общие сведения (163). 2. Приспособления, облегчающие загрузку и выгрузку заготовок (165). 3. Борьба с тепловыделением (168). 4. Ограждение печи (171).	
Глава XII. Работа кузнечного цеха . . . . .	172
1. Основы нормирования (172). 2. Себестоимость продукции (173).	
Литература . . . . .	177
Приложение . . . . .	178

## ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
11	24 свер.	При переплавке чугуна и стали	При переплавке чугуна в сталь	автора
84	18 снизу	зубчатый	трубчатый	типографии
110	7	генератором	регенератором	корректора