

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

С.Ф. ТЛУСТЕНКО

ВЫБОР И КОМПОНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В ЦЕХАХ ОМД

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

САМАРА
Издательство СГАУ
2012

УДК СГАУ: 621.77(075)

ББК 34.6

Т 495

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Н. Д. П р о н и ч е в,

д-р техн. наук, проф. Г. И. Л е о н о в и ч

Глуштенко С.Ф.

Т 495

ВЫБОР И КОМПОНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕХАХ ОМД: учеб. пособие / *С.Ф. Глуштенко*. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012. – 78 с.

ISBN 978-5-7883-0879-1

Приведены основные сведения о нагревательных печах, применяемых в кузнечно-штамповочном и прокатно-прессовом производствах. Рассмотрены конструкции печей для нагрева заготовок, слитков, блюмов, слябов из черных и цветных металлов для прессов пластической деформации металла на производствах обработки металлов давлением, а также различных видов термической обработки заготовок и изделий из них. Значительное внимание уделено выбору требований к нагреву металла, обоснованию выбора вида и оборудования для нагрева. Приведены рекомендации по повышению качества нагреваемых заготовок за счет механизации и автоматизации процессов загрузки, выгрузки, регулирования температуры нагрева.

Приведенный справочный материал позволяет использовать пособие как в процессах обучения студентов, так и в заводской практике.

Пособие рекомендуется студентам средних и высших учебных заведений по специальностям «Обработка металлов давлением», а также инженерно-техническим работникам предприятий и проектных организаций. Подготовлено на кафедре «Обработка металлов давлением».

УДК СГАУ: 621.77(075)

ББК 34.6

ISBN 978-5-7883-0879-1

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. ТИПОВЫЕ РЕЖИМЫ ТЕПЛОЙ РАБОТЫ ПЕЧЕЙ	5
1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	5
1.1.1. Энергия.....	5
1.1.2. Оборудование.....	5
1.2. МЕТОДОЛОГИЯ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ПЕЧЕЙ.....	6
1.2.1. Физические и математические модели.....	8
1.2.2. Классификация.....	9
Глава 2. ПЕЧИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ	10
2.1. КАМЕРНЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ЩЕЛЕВЫЕ НЕМЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ПЕЧИ.....	10
2.2. КАМЕРНЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ СО СТАЦИОНАРНЫМ ПОДОМ С ЗАСЛОНКОЙ.....	16
2.3. КАМЕРНЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПЛАМЕННЫЕ ПЕЧИ С ВЫДВИЖНЫМ ПОДОМ.....	21
Глава 3. ПЕЧИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ	25
3.1. ДВУХВАННЫЕ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ.....	25
3.1.1. Конструкция двухвальной сталеплавильной печи.....	25
3.1.2. Устройство работы двухвальной печи.....	27
3.1.3. Недостатки двухвальных печей.....	27
3.2. НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ (КУЗНЕЧНЫЕ) ПЕЧИ.....	28
3.3. НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ С ВРАЩАЮЩИМСЯ ПОДОМ... ..	37
3.4. ЩЕЛЕВЫЕ МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ КОНВЕЙЕРНЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ.....	40
Глава 4. ПЕЧИ НЕТИПИЗИРОВАННЫЕ РАЗНЫЕ	45
4.1. ПЕЧИ БЕЗОКСИДНОГО НАГРЕВА МЕТАЛЛА ОТКРЫТЫМ ПЛАМЕНЕМ.....	47
4.2. ВАКУУМНЫЕ ПЕЧИ.....	53
4.2.1. Общая характеристика.....	53
4.2.2. Особенности тепловой работы.....	53
4.3. ИНДУКЦИОННЫЕ ПЕЧИ.....	54
4.3.1. Индукционные плавильные печи.....	54
4.3.2. Печи без железного сердечника.....	54
4.3.3. Печи с железным сердечником.....	55
4.4. ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ ДВУХКАМЕРНЫЕ ПЕЧИ.....	57

4.5. ПЛАЗМЕННЫЕ ПЕЧИ.....	62
4.5.1. Общая характеристика.....	62
4.5.2. Принцип работы плазмотрона косвенного действия.....	62
4.5.3. Принцип работы плазмотрона прямого действия.....	64
4.5.4. Плазмообразующие газы.....	66
4.5.5. Плазменно-дуговые печи с кристаллизатором.....	67
4.6. СЕКЦИОННЫЕ ПЕЧИ.....	68
4.7. ТОЛКАТЕЛЬНАЯ ПЕЧЬ. НАЗНАЧЕНИЕ ПЕЧИ И ПРИНЦИП ЕЕ РАБОТЫ.....	69
Глава 5. НЕПЕЧНЫЕ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА.....	72
5.1. ИНДУКЦИОННЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ.....	72
5.2. УСТАНОВКИ ПРЯМОГО (КОНТАКТНОГО) ЭЛЕКТРОНАГРЕВА.....	72
5.3. ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЛАМЕННЫХ ПЕЧЕЙ...	72
5.4. УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЛАВКИ ВО ВЗВЕШЕННОМ СОСТОЯНИИ.....	74
5.4.1. Общая характеристика.....	74
5.4.2. Особенности тепловой работы.....	75
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	77

Глава 1

ТИПОВЫЕ РЕЖИМЫ ТЕПЛОЙ РАБОТЫ ПЕЧЕЙ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1.1 Энергия

Энергия есть количественное выражение различных форм движения материи и ее подразделение на различные виды (механическая, электрическая, тепловая, химическая и др.), как это принято в технических науках, удобно, но носит условный характер.

Тепловая энергия (строгое название "Т е п л о т а", но в технике часто применяется термин "Т е п л о") занимает особое место, является основным средством передачи энергии потребителю. Из естественных видов энергии лишь гравитационная энергия и энергия ветра превращаются непосредственно в механическую в гидротурбинах и ветряных двигателях, тогда как другие виды энергии (солнечная, атомная, химическая, топлива) поступают в распоряжение человека через теплоту, которая играет решающую роль во многих отраслях промышленности, в частности в металлургии, являясь важнейшим видом энергии.

1.1.2. Оборудование

Оборудование промышленного производства можно разделить на два класса: энергетическое и технологическое. Назначение энергетического оборудования — преобразование одного вида энергии в другой, изменение энергоносителя, а также параметров энергии.

Энергетическое оборудование также удобно делить на два класса: энергогенераторы и энергопреобразователи соответствующих видов энергии.

Назначением технологического оборудования является использование с максимально возможным КПД рабочего вида энергии для осуществления данного технологического процесса. Многообразие технологических процессов, применяемых в промышленности, определяет и многообразие видов технологического оборудования. К технологическому оборудованию относятся станки для механической обработки металлов, прокатные станы, кузнечные молоты и прессы, а также тепловое оборудование. Тепловым технологическим (теплотехническим) оборудованием называется такое, в котором рабочим видом

энергии является тепло. Печи различных конструкций и назначения являются наиболее важным видом этого оборудования.

Термину "печь" можно дать следующее определение: печь есть огражденное от окружающего пространства тепловое технологическое оборудование, в котором происходит генерация тепла из того или иного первичного вида энергии и передача тепла материалу, подвергаемому тепловой обработке в технологических целях (плавлению, нагреву, сушке, обжигу и т.д.).

В печах протекает комплекс явлений, сопровождающих получение тепла, его преобразование и использование для осуществления технологического процесса. Совокупность этих явлений получила название тепловой работы печей.

Печь, независимо от назначения, включает в себя следующие основные элементы:

- рабочее пространство, представляющее собой камеру той или иной конфигурации, огражденную огнеупорной футеровкой;
- устройства, обеспечивающие генерацию тепловой энергии (топки, горелки, форсунки, электронагреватели и т.д.);
- устройства для удаления продуктов сгорания (дымовые каналы, отсечные клапаны, дымовые трубы и др.);
- устройства для использования тепла отходящих газов (регенераторы, рекуператоры, котлы-утилизаторы и др.).

1.2 МЕТОДОЛОГИЯ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ПЕЧЕЙ

Любую печь можно представить состоящей из двух зон: зоны технологического процесса (ЗТП) и зоны генерации тепла (ЗГТ). Основываясь на том, что печь является технологическим оборудованием, считают, что ЗТП есть основная зона, а ЗГТ — вспомогательная, предназначенная для создания определенных энергетических условий в ЗТП. Осуществление технологического процесса будет возможным, если в ЗТП тем или иным способом возникает необходимое количество тепла.

Условимся процессы, которые обеспечивают возникновение тепла в ЗТП, называть определяющими (по отношению к энергетике этой зоны). В то же время эффективность протекания процессов в ЗТП зависит от равномерности распределения в ней энергии, т.е. тепла. Условимся процессы, от которых зависит распределение тепла в ЗТП, называть определяемыми. Характер опреде-

ляющих и определяемых процессов может быть различным; это могут быть как процессы переноса тепла или электроэнергии, так и процессы переноса массы, неразрывно связанные с возникновением и переносом тепла. В цепи этих взаимосвязанных процессов всегда можно обнаружить лимитирующее звено, которое и является предметом особого внимания при выборе и математическом описании модели печи.

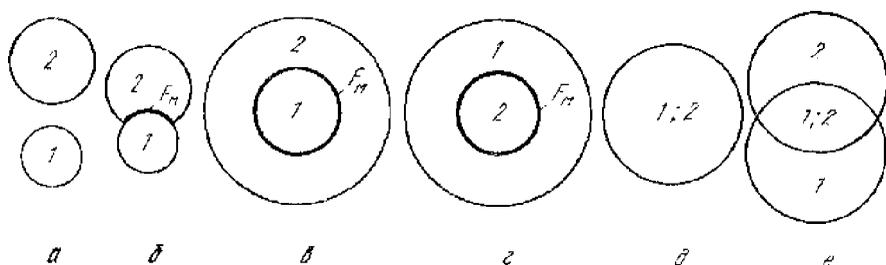


Рис. 1.1. Схемы вариантов взаимного расположения зон технологического процесса 1 и генерации тепла 2 (F_m – поверхность, разделяющая зоны нагрева)

На рис. 1.1. изображены шесть возможных случаев взаимодействия ЗТП и ЗГТ. В первых четырех случаях (а, б, в, г) возникновение тепла в ЗТП 1 зависит от передачи тепла из зоны его генерации 2, этот процесс и является определяющим, а печи, работающие с режимами данного типа, будем называть печами-теплообменниками. В случае (д) тепло возникает непосредственно в ЗТП, и печи с режимами этого типа будем называть печами-теплогенераторами. Таким образом, печами-теплообменниками называют печи, в которых генерация тепла из первичного вида энергии осуществляется в отдельной зоне (зоне генерации тепла) и ход процесса определяется в конечном итоге передачей тепла в зону технологического процесса. Печи-теплогенераторами называют печи, в которых тепло генерируется непосредственно в зоне технологического процесса. Случай (е) характеризует всевозможные смешанные режимы, при которых возникновение тепла в ЗТП определяется в различных пропорциях и генерацией тепла в этой зоне, и процессами переноса тепла. Общая теория печей рассматривает только типовые режимы работы печей-теплообменников и печей-теплогенераторов, так как все смешанные случаи могут быть проанализированы на основе теории, развитой для типовых режимов.

Основываясь на вышеизложенном, исходные положения общей теории печей могут быть сформулированы следующим образом:

1. Анализ тепловой работы печей должен базироваться на системном подходе к происходящим в печах процессам.
2. Технологическая сторона работы печи должна быть охарактеризована ее энергетической сущностью.
3. Анализ тепловой работы печей в рамках общей теории основывается на типовых моделях и базируется на рассмотрении ограниченного числа типовых режимов и их моделей.
4. Тепловая работа зоны технологического процесса определяет тепловую работу всей печи.
5. Тепловую работу печей определяют процессы тепло- и массопереноса.
6. В общем анализе тепловой работы печей не учитываются условия оптимизации и существующие ограничения, характерные для работы конкретных печей, поэтому общая теория печей формулирует только общие рекомендации, но не рецепты конкретного назначения.

1.2.1 Физические и математические модели

Тепловая работа печей характеризуется сложным комплексом взаимосвязанных теплотехнических и технологических процессов, непосредственное исследование которых представляет собой крайне трудоемкий процесс или вообще невозможно. Также невозможно непосредственное исследование новых, еще не существующих, процессов и конструкций. Поэтому при анализе тепловой работы печей широко применяется физическое и математическое моделирование. Моделирование есть воспроизведение характеристик некоторого объекта на другом материальном или мысленном объекте (модели), специально созданном для их изучения.

Общая теория печей играет весьма важную роль в развитии их математического моделирования. Эта роль заключается в том, что при огромном разнообразии печей конкретного технологического назначения выделение ограниченного числа типовых режимов тепловой работы позволяет осуществлять сначала математическое моделирование печей именно при этих типовых режимах, приспособляя затем модели к конкретным условиям. Кроме того, общая теория печей достаточно четко выявляет определяющие процессы и лимитирующие звенья, что также существенно облегчает составление математических моделей.

1.2.2 Классификация

Классификация печей по определяющему процессу предусматривает разделение их на две основные группы: печи-теплообменники и печи-теплогенераторы

Практическое значение имеют четыре типа тепловых режимов, обеспечивающих возникновение тепла в ЗТП и таким образом определяющих работы печей: радиационный, конвективный, массообменный и электрический. Возможен также пятый — механический режим, когда тепло в ЗТП возникает непосредственно за счет механической энергии (трения). Этот режим, однако, в печах пока не имеет практического значения. Важно отметить, что каждый из этих режимов характеризуется своей, особой закономерностью тепло- и массопереноса.

Радиационный и конвективный режимы, характерные для печей-теплообменников, обеспечиваются теплоотдачей из ЗГТ к границам ЗТП.

Массообменный режим, характерный для печей-теплогенераторов, обеспечивается внесением реагента в ЗТП, следствием чего является протекание в этой зоне химических реакций с соответствующим тепловым эффектом.

Электрический режим, также характерный для печей-теплогенераторов, обеспечивается возникновением тепла в ЗТП за счет электрической энергии, введенной непосредственно в эту зону.

Глава 2

ПЕЧИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

2.1. КАМЕРНЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ЩЕЛЕВЫЕ НЕМЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ПЕЧИ

Эти печи предназначены для нагрева концов заготовок (в отдельных случаях — для полного нагрева заготовок) под ковку, штамповку или высадку.

Общий вид щелевой немеханизированной пламенной печи показан на рис. 2.1, технические данные печей этого типа указаны в табл. 2.1. Уровень пода обычно совпадает с уровнем порога, но иногда для интенсификации нагрева концов под выкладывают на 50—100 мм ниже. Печи этого типа устанавливают на пол цеха без специального фундамента. Рабочую щель печи перекрывают сводом из шамотного кирпича. Высоту щели по специальному требованию можно изменять по сравнению со значениями, приведенными в таблице. На фронте загрузки может быть также выложена стенка со сквозными гнездами для фиксированной установки нагреваемых заготовок; такая разновидность печи носит название «очковая—стационарная». В задней стенке могут быть сделаны ложные окна, используемые при нагреве середины длинных заготовок и при ремонте печи. Для защиты обслуживающего персонала от излучений из открытой щели перед ней устанавливают трубы водяной или воздушной завесы и экран с переставным козырьком.

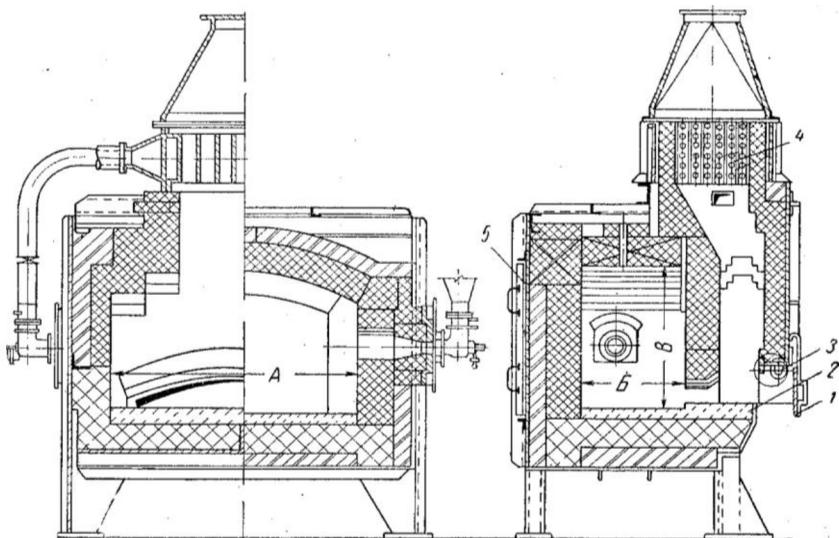


Рис. 2.1. Печь нагревательная камерная щелевая немеханизированная НЩО:
1 — экран; 2 — порог; 3 — завеса; 4 — рекуператор; 5 — ремонтное окно

Таблица 2.1

Индекс печи	Размеры рабочего пространства, мм			Размеры загрузочных окон, мм	Условная площадь пода, м ²
	А	Б	В		
НЩО-6-4,5-4/13	580	464	400	240×810	0,27
НЩО-6-8-4/13	580	812	400	240×810	0,5
НЩО-8-4,5-6,5/13	812	464	650	304×1042	0,35
НЩО-8-6-6,5/13	812	580	650	304×1042	0,5
НЩО-8-10-6,5/13	812	1044	650	304×1042	0,8
НЩО-10-6-8/13	1044	580	814	360×1274	0,6
НЩО-10-8-8/130	1044	812	814	350×1274	0,8
НЩО-10-12-8/13	1044	1160	814	360×1274	1,2
НЩО-12-6-8/13	1160	580	814	240×1390	0,72
НЩО-12-8-9/13	1160	812	900	360×1390	0,95
НЩО-12-10-9/13	1160	1044	900	360×1390	1,2
НЩО-12-14-9/13	1160	1392	900	360×1390	1,7
НЩО-14-7-10/13	1392	696	986	240×1622	0,95
НЩО-14-10-10/13	1392	1044	986	$360 \times \frac{464}{1622}$	1,4
НЩО-14-12-10/13	1392	1160	986	$360 \times \frac{464}{1622}$	1,7
НЩО-14-16-10/13	1392	1624	986	$360 \times \frac{464}{1622}$	2,25

Производительность кг/ч *	Число загрузочных окон	Число горелок (форсунок)	Наибольший расход топлива		Требуемая поверхность рекуператора, м ²	Расход основных материалов для сооружения, т	
			природный газ м ³ /ч **	мазут кг/ч		всего	в том числе металл
$\frac{55}{110}$	1	1	√12,5	10 √	1,4	5,2	2,2
$\frac{100}{200}$	1	1—2	30	24	2,5	6,8	2,8
$\frac{70}{140}$	1	1	19	15	1,7	6	2,5
$\frac{100}{200}$	1	1	30	24	2,5	6,8	2,8
$\frac{160}{320}$	1	2	50	40	4	8,3	3,7
$\frac{120}{230}$	1	1	38	30	2,4	7,5	3,2
$\frac{160}{300}$	1	2	50	40	4	8,9	3,7
$\frac{240}{450}$	1	2	73	58	6	11,4	4,7
$\frac{145}{275}$	1	1—2	43	35	3,5	8,4	3,5
$\frac{190}{360}$	1	2	58	47	5	9,9	4,1
$\frac{240}{450}$	1	2	73	58	6	11,4	4,7
$\frac{340}{640}$	1	3	93	74	8,5	13,8	5,2
$\frac{190}{360}$	1	2	59	47	5	9,9	4,1
$\frac{280}{530}$	$\frac{2}{1}$	2	82	66	7	12,4	4,9
$\frac{340}{640}$	$\frac{2}{1}$	2—3	93	74	8,5	13,8	5,2
$\frac{450}{850}$	$\frac{2}{1}$	4	110	88	11	16	5,8

Индекс печи	Размеры рабочего пространства, мм			Размеры загрузочных окон, мм	Условная площадь пода, м ²
	А	Б	В		
НЦО-16·6·11/13	1624	580	1100	360×464	0,95
НЦО-16·8·11/13	1624	812	1100	$360 \times \frac{464}{1854}$	1,3
НЦО-16·12·11/13	1624	1160	1100	$360 \times \frac{464}{1854}$	1,9
НЦО-16·14·11/13	1624	1392	1100	$360 \times \frac{464}{1854}$	2,25
НЦО-16·18·11/13	1624	1856	1100	360×1854	2,9
НЦО-18·8·14/13	1856	812	1450	460×580	1,45
НЦО-18·10·14/13	1856	1044	1400	460×580	1,8
НЦО-18·14·14/13	1856	1392	1400	$460 \times \frac{580}{2086}$	2,5
НЦО-18·16·14/13	1856	1624	1400	$460 \times \frac{580}{2086}$	2,9
НЦО-18·20·14/13	1856	2088	1460	$460 \times \frac{580}{2086}$	3,6
НЦО-20·8·9/13	2088	812	939	304×696	1,6
НЦО-20·12·16/13	2088	1160	1600	300×696	2,4
НЦО-20·16·16/13	2088	1624	1600	$\frac{300}{500} \times \frac{696}{2318}$	3,2
НЦО-20·18·16/13	2088	1856	1600	$\frac{300}{500} \times \frac{696}{2318}$	3,6
НЦО-20·22·16/13	2088	2204	1600	$\frac{300}{500} \times \frac{696}{2318}$	4,4

Производительность кг/ч *	Число загрузочных окон	Число горелок (форсунок)	Наибольший расход топлива		Требуемая поверхность рекуператора, м ²	Расход основных материалов для сооружения, т	
			природный газ м ³ /ч **	мазут кг/ч		всего	в том числе металл
$\frac{190}{360}$	2	2	59	47	5	9,9	4,1
$\frac{260}{490}$	$\frac{2}{1}$	2	78	62	6,5	12	4,8
$\frac{380}{720}$	$\frac{2}{1}$	2	100	80	9,5	14,7	5,5
$\frac{450}{850}$	$\frac{2}{1}$	4	110	88	11	16	5,8
$\frac{580}{1100}$	1	4	130	104	14,5	17,4	6,5
$\frac{290}{590}$	2	2	84	67	7	12,7	5
$\frac{360}{680}$	2	2—3	95	76	9	14,2	5,3
$\frac{500}{950}$	$\frac{2}{1}$	4	117	94	12	17	6,1
$\frac{580}{1100}$	$\frac{2}{1}$	4	130	104	14,5	18,4	6,5
$\frac{700}{1375}$	$\frac{2}{1}$	4	153	122	18	20,4	7,4
$\frac{320}{560}$	2	2	88	70	8	13,3	5,1
$\frac{480}{850}$	2	4	115	92	12	16,7	6
$\frac{640}{1150}$	$\frac{2}{1}$	4	140	112	16	19,4	6,9
$\frac{700}{1100}$	$\frac{2}{1}$	4	153	122	18	20,4	7,4
$\frac{875}{1300}$	$\frac{2}{1}$	6	175	140	22	22,5	8,2

Размерный ряд камерных высокотемпературных электропечей с карборундовыми нагревателями аналогичного назначения приведен в табл. 2.2. Электропечи могут быть приспособлены для работы с искусственной атмосферой. Долговечность работы неметаллических электронагревателей в этих электропечах обеспечена относительно низкой удельной поверхностной мощностью. Равномерному нагреву садки способствует расположение электронагревателей вдоль ширины камеры нагрева на своде и под карборундовыми плитами пода. Самостоятельно подключаемые четыре (и более) группы электронагревателей также способствуют возможности регулирования распределения мощности для повышения равномерности температуры по всему пространству камеры нагрева, а также облегчают подбор электронагревателей по мере их старения при смене.

Таблица 2.2

Индекс электропечи	Размеры рабочего пространства, мм			Мощность установленная (ориентировочно)
	ширина	длина	высота	
СНЗ-2-2-0,8/13	200	200	80	10
СНЗ-3-4-1,2/13	300	400	120	25
СНЗ-5-6,5-2/13	500	650	200	50
СНЗ-8,5-10-3/13	850	1000	300	100

Индекс электропечи	Размеры электронагревателей мм			Удельная поверхностная мощность электронагревателей, $N_{\text{п}}/\text{см}^2$	Количество электронагревателей на 1 электропечь, шт.
	диаметр стержня	длина рабочей части	длина выводов		
СНЗ-2-2,0,8/13	18	250	350x2	11,8	6
СНЗ-3-4-1,2/13	18	400	350x2	9,3	12
СНЗ-5-6,5-2/13	25	600	400x2	8,9	12
СНЗ-8,5-10-3/13	30	1000	500x2	8,8	12

2.2. КАМЕРНЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ СО СТАЦИОНАРНЫМ ПОДОМ С ЗАСЛОНКОЙ

Печи пламенные камерные (рис. 2.2, табл. 2.3) широко применяют в кузницах многоменклатурного основного производства, а также в ремонтных кузницах.

В печах камерных, равно как и в щелевых немеханизированных, загрузку и выгрузку мелких заготовок осуществляют вручную; при массе заготовки 10 кг и более печи снабжают средствами внешней механизации, начиная от подвесных на монорельсе клещей и кончая загрузочными машинами и манипуляторами. При отводе продуктов сгорания вверх зонт печи устанавливают на пол цеха без фундамента, при отводе в боров — на фундамент.

Предназначенная для нагрева листов камерная пламенная печь, не входящая в типизированный ряд, показана на рис. 2.3.

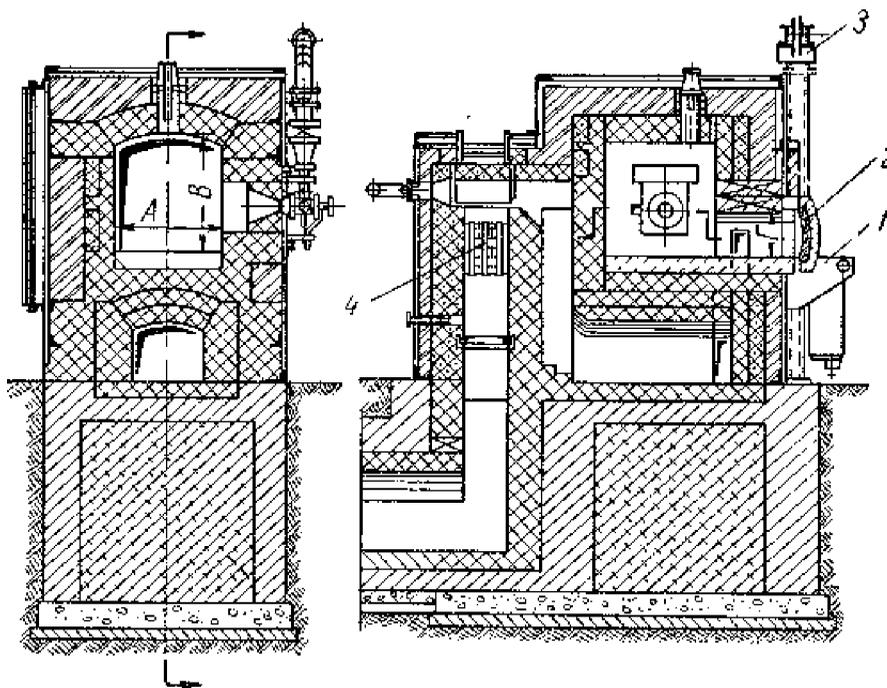


Рис. 2.2. Печь нагревательная камерная со стационарным подом с заслонкой ННО (ННЗ): 1 — стол загрузки; 2 — заслонка рабочего окна; 3 — механизм подъема заслонки; 4 — рекуператор

Таблица 2.3

Индекс печи	Размеры рабочего пространства, мм			Размеры загрузочных окон, мм	Условная площадь пода м ²
	А	Б	В		
ННО-6·4,5·4/13	580	464	400	293×348	0,27
ННО-6·6·4/13	580	580	400	308×464	0,35
ННО-6·8·4/13	580	812	400	308×464	0,5
ННО-7·7·6/13	696	696	580	308×464	0,5
ННО-8·4,5·6,5/13	812	464	630	410×696	0,35
ННО-8·6·6,5/13	812	580	630	410×696	0,5
ННО-8·8·6,5/13	812	812	630	480×696	0,65
ННО-8·12·6,5/13	812	1160	630	550×696	0,95
ННО-10·6·8/13	1044	580	800	495×812	0,6
ННО-10·7·8/13	928	696	800	495×812 (410) (696)	0,7
ННО-10·10·8/13	1044	928	800	495×812	1
ННО-10·14·8/13	1044	1392	800	495×812	1,4
ННО-12·8·9/13	1160	812	930	596×1044	0,95
ННО-12·12·9/13	1160	1160	930	596×1044	1,45
ННО-12·15·9/13	1160	1608	930	596×1044 (495) (812)	1,9
ННО-14·10·11/13	1392	1044	1050	$\frac{378}{760} \times \frac{464}{1276}$	1,4
ННО-14·14·11/13	1392	1392	1050	$\frac{478}{760} \times \frac{464}{1276}$	1,95

Производительность кг/ч *	Число загрузочных окон	Число горелок (форсунок)	Наибольший расход топлива		Требуемая поверхность нагрева рекуператора м ²	Расход основных материалов для сооружения, т		
			природный газ м ³ /ч **	мазут кг/ч		всего		в том числе металла
						при отводе дыма в боры	при отводе дыма вверх	
$\frac{55}{110}$	1	1	11	9	1,4	11	5	2
$\frac{70}{140}$	1	1	15	12	1,7	13,4	6,4	2,4
$\frac{100}{200}$	1	2	22	18	2,5	17,7	7,7	2,7
$\frac{100}{200}$	1	1	22	18	2,5	17,7	7,7	2,7
$\frac{70}{140}$	1	1	15	12	1,8	13,3	6,4	2,4
$\frac{100}{200}$	1	1	22	18	2,5	17,7	7,7	2,7
$\frac{130}{260}$	1	2	31	25	3,2	21,2	10,2	3,2
$\frac{190}{380}$	1	2	50	40	4,7	26,8	13,3	3,8
$\frac{120}{240}$	1	2	27	22	3	20	9,5	3
$\frac{140}{280}$	1	2	38	30	3,5	22,5	11	3,5
$\frac{200}{400}$	1	2	50	40	5	27,7	13,7	3,7
$\frac{280}{560}$	1	3	75	60	7	34,1	17,6	4,6
$\frac{190}{380}$	1	2	50	75	5	26,8	13,3	3,8
$\frac{290}{580}$	1	3	75	60	7,2	34,6	18,1	4,6
$\frac{380}{760}$	1	4	95	75	9,5	42,4	22,4	5,4
$\frac{280}{560}$	$\frac{2}{1}$	3	75	90	7	34,1	17,6	4,6
$\frac{390}{780}$	$\frac{2}{1}$	4	95	75	10	54,7	23,2	5,7

Индекс печи	Размеры рабочего пространства, мм			Размеры загрузочных окон, мм	Условная площадь пода м ²
	А	Б	В		
ННО-14·18·11/13	1392	1856	1050	760×1276	2,5
ННО-16·12·14/13	1624	1160	1400	378×464	1,9
ННО-16·16·14/13	1624	1624	1400	378×464	2,5
ННО-16·20·14/13	1624	1972	1400	$\frac{378}{925} \times \frac{464}{1508}$	3,2
ННО-18·14·14/13	1856	1392	1400	464×580	2,5
ННО-18·18·14/13	1856	1856	1400	$\frac{464}{954} \times \frac{580}{1740}$	3,2
ННО-18·22·14/13	1856	2204	1400	$\frac{464}{954} \times \frac{580}{1740}$	4
ННО-20·16·16/13	1972	1624	1600	550×696	3,2
ННО-20·20·16/13	1972	1972	1600	$\frac{550}{993} \times \frac{696}{1856}$	4
ННО-20·25·16/13	1972	2552	1600	$\frac{550}{993} \times \frac{696}{1856}$	5
ННО-20·30·16/13	1972	3016	1600	$\frac{550}{993} \times \frac{696}{1856}$	6
ННО-22·18·16/13	2204	1856	1600	550×696	4
ННО-22·22·16/13	2204	2204	1600	$\frac{550}{1350} \times \frac{696}{1970}$	4,9
ННО-22·30·16/13	2204	3016	1600	1350×1970	6,6
ННО-25·20·18/13	2552	1972	1800	635×812	5
ННО-25·25·20/13	2552	2552	2000	$\frac{635}{1350} \times \frac{812}{1970}$	6,3
ННО-25·30·20/13	2552	3016	2000	$\frac{635}{1350} \times \frac{812}{1970}$	7,5

Производительность кг/ч *	Число загрузочных окон	Число горелок (форсунок)	Наибольший расход топлива		Требуемая поверхность нагрева рекуператора м ²	Расход основных материалов для сооружения, т		
			природный газ м ³ /ч **	мазут кг/ч		всего		в том числе металла
						при отводе дыма в боров	при отводе дыма вверх	
500 1000	1	6	110	90	12,5	52,3	28,3	6,8
390 750	2	4	95	75	9,5	42,4	22,4	5,4
500 1000	2	6	110	90	12,5	52,3	28,3	6,8
650 1300	2 1	6	130	105	16	62,2	35,2	8,2
500 1000	2	4	110	90	12,5	52,3	28,3	6,8
650 1300	2 1	6	130	105	16	62,2	35,2	8,2
800 1600	2 1	6	150	125	20	72,2	42,7	9,7
650 1300	2	6	130	105	16	62,2	35,2	8,2
800 1600	2 1	6	155	125	20	72,2	42,7	9,7
1000 2000	2 1	8	190	150	25	84,2	52,7	11,7
1200 2400	2 1	8	220	175	30	96,5	62	14
800 1600	2	6	155	125	20	72,2	47,2	9,7
970 1950	2 1	6	180	145	25	83,4	51,4	11,4
1320 2650	1	8	240	190	33	103,3	67,8	15,3
1000 2000	2	6	190	150	25	74,2	52,7	11,7
1250 2500	2 1	8	225	180	31	100	65	14,6
1500 3000	2 1	8	260	210	37	114,5	76	16,6

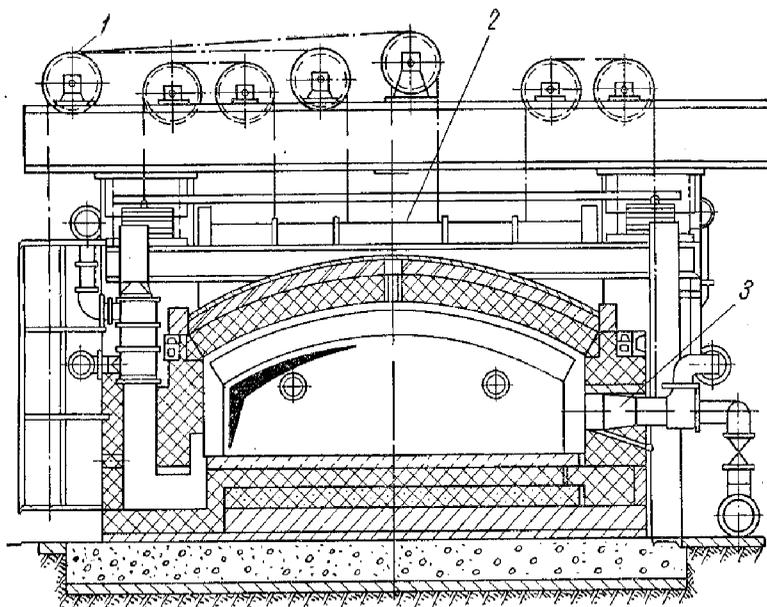


Рис. 2.3. Печь нагревательная камерная со стационарным подом с заслонкой для нагрева листов: 1 – механизм подъема заслонки; 2 – заслонка; 3 – горелка

2.3. КАМЕРНЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПЛАМЕННЫЕ ПЕЧИ С ВЫДВИЖНЫМ ПОДОМ

Эти печи (рис.2.4, табл. 2.4) используют, как было указано выше, для нагрева под ковку слитков или заготовок из проката. Загрузку на под и снятие заготовок с пода осуществляют с помощью средств цеховой механизации (обычно мостовыми кранами). Печи устанавливают на специальный фундамент, являющийся общим для печи и для рельсовых путей выдвижного пода (внутри печи и вне ее). В фундаменте предусматривают приямки для размещения механизмов выдвижения пода и подъема заслонки.

Подина печи состоит из рамы, сваренной из проката, литой гарнитуры и футеровки из шамотного нормального и легковесного кирпича. Рама подины перемещается на цепях катков. Для перемещения пода служат обычно нормализованные реечные механизмы с рейками цевочного типа. Для того чтобы под можно было выкатить на значительное расстояние, например в соседний пролет, применяют механизм выкатки с грузовой цепью в качестве тягового органа. Если выкатку требуется осуществить на трансбордер, под устанавливают на колесах и для выкатки пользуются механизмом трансбордера.

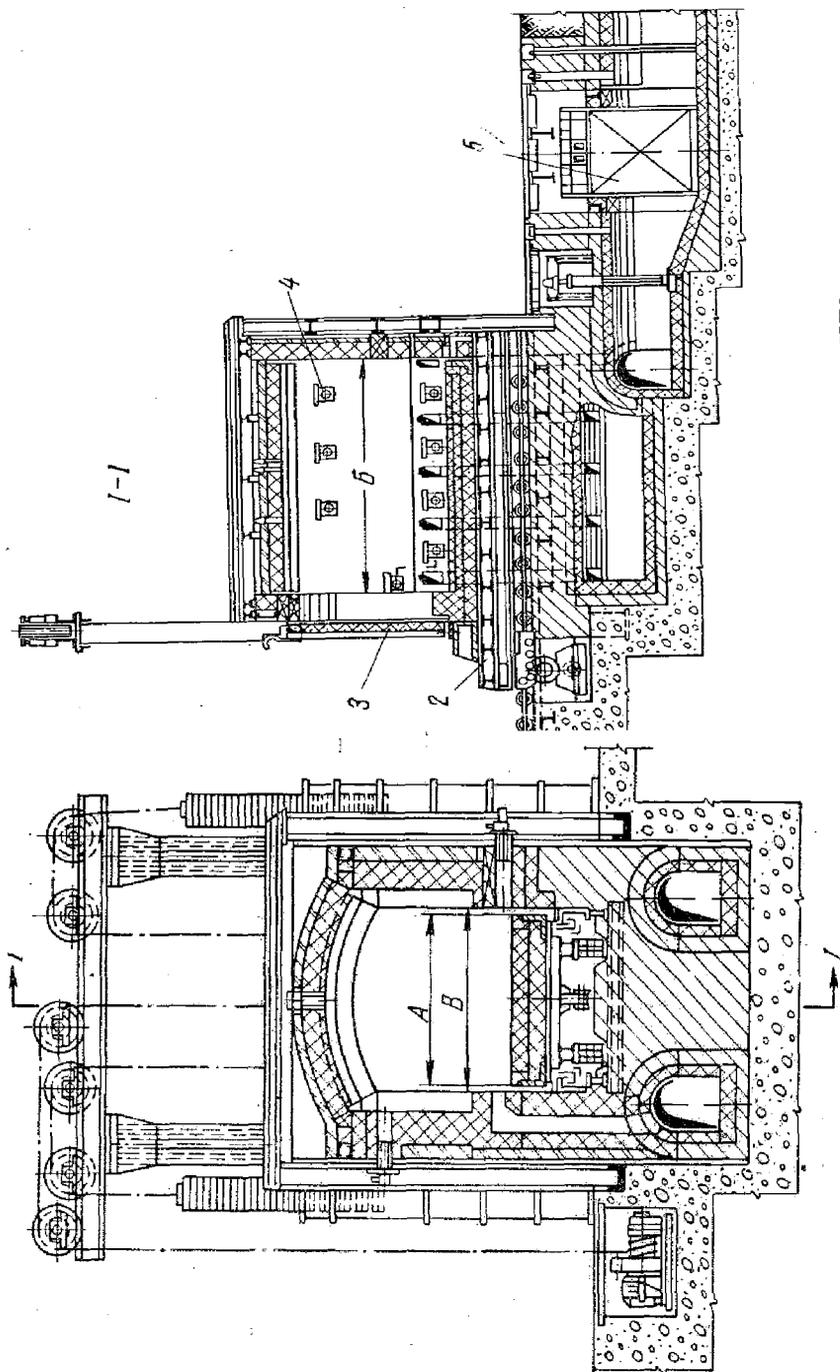


Рис.2.4. Печь нагревательная камерная тушковая с выдвижным подом НДО:
 1 – рельсовый путь; 2 – выдвижной под; 3 – заслонка; 4 – горелка; 5 – рекуператор

Таблица 2.4

Индекс печи	Размеры рабочего пространства, мм		Высота рабочего пространства, мм	Размеры загрузочного окна, мм	Условная площадь пода, м ²
	А	Б			
НДО-12·25·12/13—15	1180	2 552	1160	930×1276	3
НДО-16·30·16/13—25	1650	3 016	1624	1320×1748	4,8
НДО-20·30·20/13—30	2000	3 016	1972	1580×2088	6
НДО-20·40·20/13—50	2000	4 060	1972	1580×2088	8
НДО-25·40·23/13—65	2460	4 060	2300	1840×2552	10
НДО-25·50·23/13—80	2460	4 988	2300	1840×2552	12,5
НДО-30·50·25/13—100	3020	4 988	2500	2160×3130	15
НДО-30·60·25/13—120	3020	6 032	2500	2160×3130	18
НДО-40·60·36/13—160	4060	6 032	3650	2920×4176	24
НДО-40·80·36/13—210	4060	8 004	3650	2920×4176	32
НДО-50·80·40/13—260	4980	8 004	4000	3120×5104	40
НДО-50·100·40/13—320	4980	9 976	4000	3120×5104	50
НДО-60·100·50/13—390	6000	9 976	5000	3860×6148	60
НДО-60·120·50/13—470	6000	11 948	5000	3860×6148	72

Масса садки на под (наибольшая) т	Производительность кг/ч *	Число горелок (форсунок)	Наибольший расход топлива		Требуемая поверхность нагрева регенератора м ²	Установленная мощность электродвигателей кВт	Расход основных материалов для сооружения: т	
			природный газ м ³ /ч **	мазут кг/ч			всего	в том числе металл
15	$\frac{450}{600}$	8	90	72	15	18	64	20
25	$\frac{720}{960}$	8—10	150	120	24	18	80	28
30	$\frac{900}{1200}$	8—10	180	145	30	21	104	36
50	$\frac{1200}{1600}$	12	245	195	40	21	140	48
65	$\frac{1500}{2000}$	12	310	250	50	21	180	60
80	$\frac{1875}{2500}$	16	380	305	56,5	21	220	76
100	$\frac{2250}{3000}$	16	460	370	75	21	272	92
120	$\frac{2700}{3600}$	16—20	550	440	90	21	334	108
160	$\frac{3600}{4800}$	16—20	750	600	120	25	454	144
210	$\frac{4800}{6400}$	24—28	1020	820	160	25	516	192
260	$\frac{6000}{8000}$	24—28	1270	1020	200	25	755	240
320	$\frac{7500}{10\ 000}$	32—36	1570	1250	250	25	925	300
390	$\frac{9000}{12\ 000}$	32—36	1880	1500	300	28	1075	360
470	$\frac{11\ 000}{14\ 500}$	36—40	2250	1800	360	28	1260	440

По специальному заказу печи этого типа могут быть изготовлены проходными, в которых выкатка пода может происходить на обе стороны.

Глава 3

ПЕЧИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

3.1. ДВУХВАННЫЕ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ

3.1.1. Конструкция двухвальной сталеплавильной печи

В двухвальных печах выплавляют стали широкого сортамента, в том числе низколегированные, не уступающие по качеству сталям, выплавляемым в мартеновских печах (рис. 3.1).

Распространение двухвальных печей определено их преимуществами в сравнении с мартеновскими печами: малым удельным расходом огнеупоров (4–5 кг в сравнении с 12–15 кг на мартеновских печах), меньшим объемом ремонтов, значительным облегчением условий труда ремонтных рабочих, в 3–5 раз меньшим расходом топлива, более высокой стойкостью, достигающей 800–1000 плавов.

Производительность двухвальных печей в 3–4 раза выше, чем мартеновских; их устанавливают на месте существующих мартеновских печей без реконструкции здания и изменения грузопотоков в цехе.

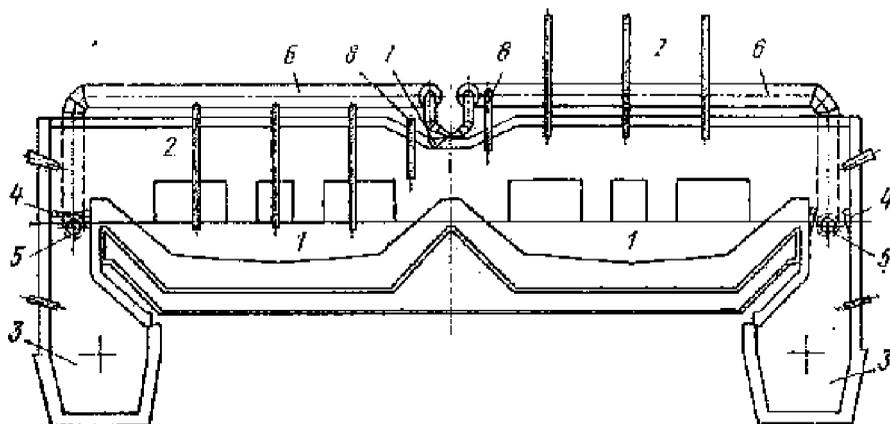


Рис. 3.1. Двухвальная печь 2х300 т:

- 1 – ванны печи; 2 – фурмы; 3 – шлаковики; 4 – водоохлаждаемая заслонка;
- 5 – амбразура для отбора воздуха из вертикального канала; 6 – футерованный воздухопровод; 7 – амбразура в своде печи; 8 – эжектор

3.1.2. Устройство работы двухванной печи

Печь работает следующим образом: в одной ванне (горячей) происходит плавление и доводка с интенсивной продувкой металла кислородом, а во второй ванне (холодной) в то же время идет завалка и прогрев твердой шихты. Газы из горячей части печи направляются в холодную и состоят до 35% из оксида углерода. В холодной части печи СО догорает до CO_2 и за счет выделяющегося тепла происходит нагрев твердой шихты. Недостающее для процесса нагрева тепло восполняется подачей природного газа через горелки, установленные в своде печи. Сгорание природного газа и догорание СО совершаются за счет дополнительного кислорода.

Когда готовую сталь из первой ванны выпускают, во вторую ванну заливают жидкий чугун. После заливки чугуна тут же начинают продувку ванны кислородом. Заканчивается продувка за 5–7 мин до выпуска. С выпуском металла из первой ванны цикл плавки заканчивается и начинается новый. В то же время с помощью перекидных шиберов изменяется направление движения газов. Теперь бывшая холодная ванна становится горячей. Первую ванну направляют и производят завалку шихты, и цикл повторяется.

Двухванная печь должна работать таким образом, чтобы было равенство холодного и горячего периодов, протекающих одновременно в разных ваннах. В холодный период входят выпуск, заправка, завалка, прогрев, заливка чугуна; в горячий период – плавление и доводка. Например, для печи с садкой каждой ванны 250 т общая продолжительность плавки составляет 4 ч, каждый период длится по 2 ч. Металл выпускается также через каждые 2 ч. Раскисление стали производят в ковше.

Металл продувают кислородом в каждой ванне через две–три кислородные фурмы с интенсивностью 20–25 м³/ч на 1 т металла. Каждая часть печи оборудована сводовыми кислородными фурмами и газокислородными горелками. Горелки необходимы для сушки и разогрева печи после ремонтов, а также для подачи дополнительного топлива.

Современные двухванные печи работают на техническом кислороде без вентиляторного воздуха, поэтому регенераторы отсутствуют. Холодная ванна печи частично выполняет роль регенераторов, аккумулируя тепло газов, покидающих горячую часть печи с температурой ~1700°С, и частично улавливает плавильную пыль, тем самым выполняет роль шлаковиков. Тем не менее количество пыли в продуктах сгорания, покидающих печь, составляет большую величину (20–40 т/м³). Пыль состоит на 85–90 % из окислов железа.

Дымовые газы, покидающие рабочее пространство печи с температурой около 1500 °С, поступают по вертикальному каналу в шлаковик, в котором охлаждаются водой до температуры 900–1000 °С, а затем направляются в боров. В борове за счет подсоса холодного воздуха происходит дальнейшее понижение их температуры до 700 °С.

3.1.3. Недостатки двухванных печей

К недостаткам существующих конструкций двухванных печей следует отнести меньший выход годной стали, повышенный расход жидкого чугуна и выбивание большого количества технологических газов через завалочные окна в цех.

Как уже указывалось, большим недостатком двухванных печей является выбивание газов через окна печи. Для устранения этого недостатка необходимо выполнение ряда мероприятий, из которых наиболее важны следующие: обеспечение на печи резерва по тяге и работа через газоочистку в течение всей кампании печи; создание конструкции дымоотводящего тракта обеспечивающего неорганизованные минимальные подсосы; выполнение вертикальных каналов печи с охлаждаемыми поверхностями (рис. 3.2).

Подсос воздуха в продувочную камеру уменьшается также благодаря эжекции части воздуха (~ 10 000 м³/ч) из вертикального канала с подачей его в камеру нагрева шихты мимо продувочной камеры. Воздух, имеющий температуру 700-500°С, отсасывают через охлаждаемую амбразуру в стенки вертикального канала, соединенную с амбразурой в своде печи между камерами футерованным воздухопроводом. Эжектируемый воздух подлетает в камеру нагрева шихты со скоростью 100 м/с и используется для сжигания топлива или дожигания оксида углерода, поступающего из камеры продувки.

Для уменьшения эжектирующего действия струй воздуха в конструкции отдува предусмотрены сопла, подающие воздух, направленный против движения потока подсасываемого воздуха. Струи из этих отверстий создают завесу на входе в амбразуру, тем самым сокращая присос воздуха и уменьшая эффективность отдува.

При уменьшении количества подсасываемого в продувочную камеру воздуха уменьшается общее количество дыма, поступающего в камеру нагрева. Это позволяет оборудовать печь пережимом между ваннами с установкой с каждой стороны эжекторов. При этом возможно обеспечение независимого регулирования давления под сводом печи в каждой камере, что

имеет большое значение для улучшения тепловой работы печи и обеспечивает хорошие условия для полного дожигания горючих составляющих дыма, поступающих в камеру нагрева.

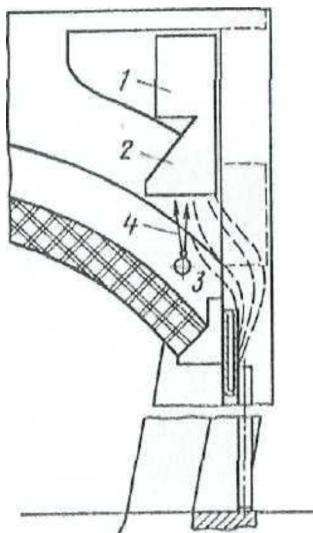


Рис. 3.2. Устройство для отсоса дымовых газов, выбивающихся из рабочего пространства печи: 1 – коллектор; 2 – зонт; 3 – коллектор сжатого воздуха; 4 – воздушная струя

Большие трудности вызывает уплотнение проема завалочных окон при открытой заслонке. Если окно находится под разрежением, то через него засасывается 30000-40000 м³ воздуха в час. Для обеспечения возможности работы печи при повышенном давлении под сводом предусмотрены устройства, отсасывающие выбивающийся дым (рис. 3.2) со сбросом его в борова или в резервную газоочистку. Наличие резервной газоочистки приводит к удорожанию строительства печи.

3.2. НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ (КУЗНЕЧНЫЕ) ПЕЧИ

Печи этого типа применяют для нагрева одностипных заготовок квадратного или круглого сечения под ковку или штамповку. Печи на природном газе в специальном исполнении могут работать с атмосферой, получаемой в

результате сжигания газа при коэффициенте расхода воздуха $\alpha = 0,5$ и обеспечивающей малоокислительный нагрев. В этих случаях устанавливают специальные рекуператоры или регенераторы для высокотемпературного подогрева воздуха.

Продукты сгорания отводятся либо вверх (под зонт и затем в вытяжную трубу), либо в боров и дымовую трубу.

Нагреваемые заготовки проталкивают по поду специальным толкателем. Проталкивание заготовок может быть продольным или поперечным. При продольном проталкивании круглых заготовок применяют желобчатый под. При поперечном толкании заготовок можно устанавливать водоохлаждаемые направляющие. В печах с нижним обогревом устройство водоохлаждаемых направляющих обязательно.

При относительно большой длине печи часть пода может быть выполнена с уклоном (по ходу заготовок) для уменьшения усилия толкания и предотвращения взгорбливания заготовок, для чего при поперечном проталкивании круглых заготовок можно применять прижимные брусья, устанавливаемые за окном загрузки.

Гладкий под печи в сварочной зоне выкладывают из талько-магнезитового или магнезитохромитового кирпича; желобчатый — из фасонного карборунда, форстеритового кирпича или жаропрочного бетона с форстеритовым наполнителем. В случае боковой выдачи заготовок (поперечное проталкивание) в подине по оси окна выдачи устанавливают водоохлаждаемую металлическую плиту.

Печи с желобчатым подом (рис. 3.3, табл. 3.1) можно использовать при минимальном диаметре заготовок 40 мм. Отношение длины заготовки к диаметру не должно превышать 5. Наибольшая длина заготовок, которые можно проталкивать по желобчатому поду, не должна превышать 500 мм. Торцы заготовок должны быть правильной формы и без заусенцев. Механизмы печи состоят из механизированного бункера-питателя, шагающего пластинчатого конвейера и многоштангового толкателя; работа этих механизмов автоматизирована.

Печи с гладким подом (рис. 3.4, табл. 3.2) при торцовой выдаче заготовок снабжаются толкателем с загрузочным столом, а при боковой выдаче — дополнительно выталкивателем (рис. 3.5). Для создания запаса заготовок у толкателя могут быть применены кассеты.

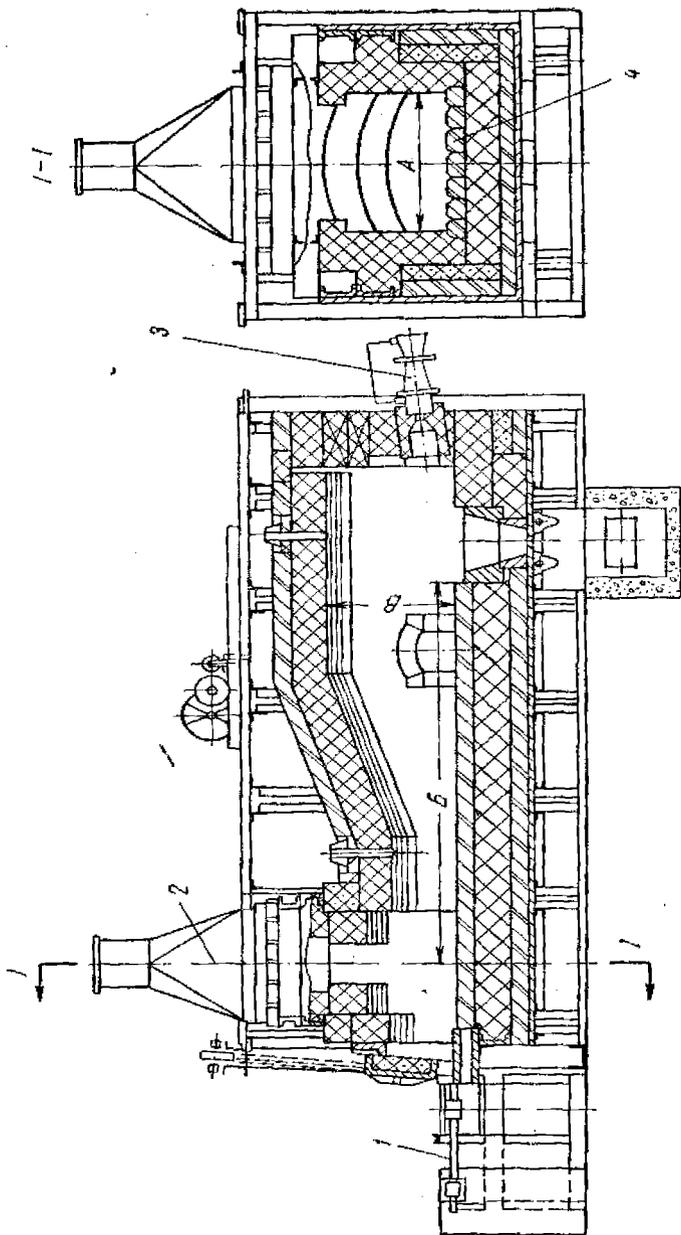


Рис. 3.3. Печь нагревательная методическая (кузнечная) с желобчатым подом с выдачей заготовок через под НУОЖ (НУЗЖ); 1 — загрузочный толкатель; 2 — вытяжной зонг; 3 — горелка; 4 — желобчатый под

Таблица 3.1

Индекс печи	Размеры рабочего пространства мм			Высота загрузоч- ного окна, мм	Услов- ная площадь пода, м ²
	А	Б	В		
НУОЖ-6-30/13	580	3016	500	324	1,8
НУОЖ-8-30/13	812	3016	570	425	2,4
НУОЖ-8-40/13	812	3944	570	425	3,2
НУОЖ-10-40/13	1044	3944	720	526	4
НУОЖ-10-50/13	1044	4988	720	526	5
НУОЖ-12-40/13	1160	3944	810	557	4,8
НУОЖ-12-50/13	1160	4988	810	557	6
НУОЖ-12-60/13	1160	6032	810	557	7,2
НУОЖ-14-40/13	1392	3944	1050	650	5,6
НУОЖ-14-60/13	1392	6032	1050	650	8,4
НУОЖ-14-80/13	1392	8004	1050	650	11,5

Производительность, кг/ч	Число горелок (форсунок)	Наибольший расход топлива		Требуемая поверхность нагрева реактора, м ² ***	Установленная мощность электро-двигателей, кВт	Темп работы наибольшей загрузки — выгрузка, шт/ч	Расход основных материалов для сооружения, т	
		природный газ кг/ч **	мазут кг/ч				всего	в том числе металлы
400	2	85	68	7	14	300	14	5
650								
550	2	110	88	10	20	300	21	7
840								
750	2	145	115	12,5	20	300	25,5	9,5
1150								
950	2	180	145	16	28	300	30	11
1400								
1150	2	225	180	20	28	200	38	14
1750								
1200	3	220	175	19	28	200	36,5	13,5
1825								
1550	3	270	215	24	28	200	46	17
2300								
1800	3	325	260	29	40	200	55,5	20,5
2700								
1400	4	250	200	22,5	40	180	43	16
2100								
2200	4	370	295	33,5	40	180	64	24
3300								
3000	4	430	345	45	40	180	86	32
4500								

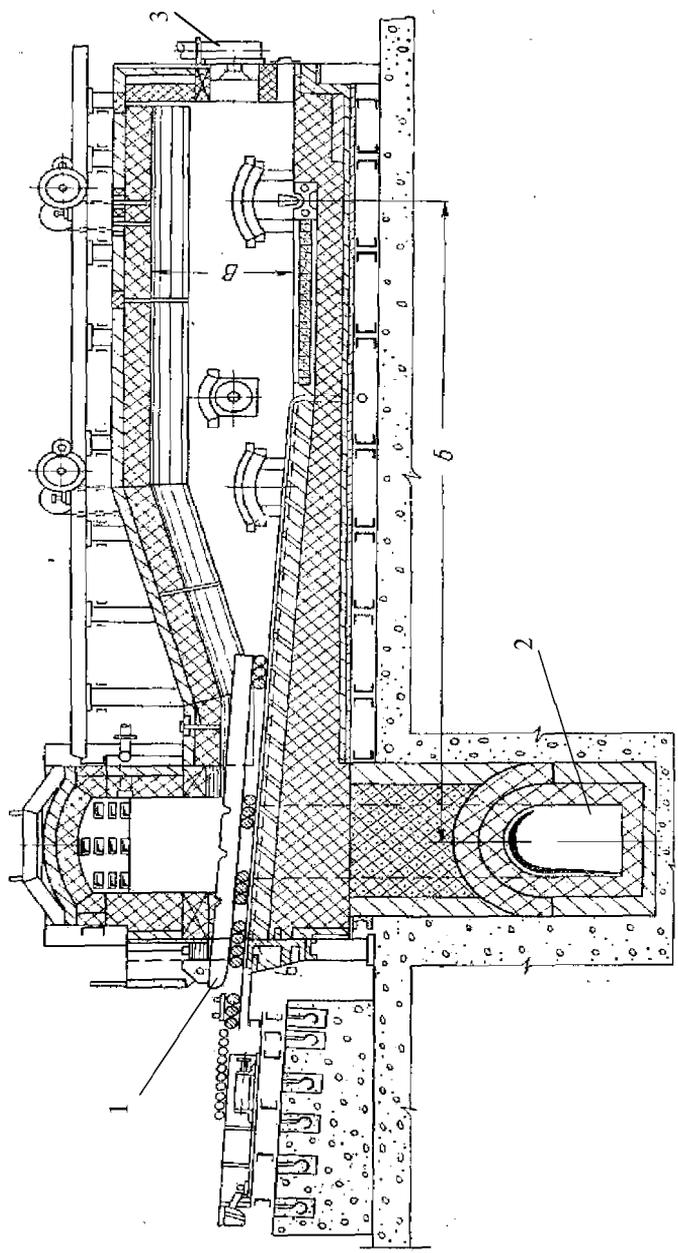


Рис. 3.4. Печь нагревательная с выкатным подом. 1 — выдвижной под, 2 — рекуператор, 3 — окно выдачи;

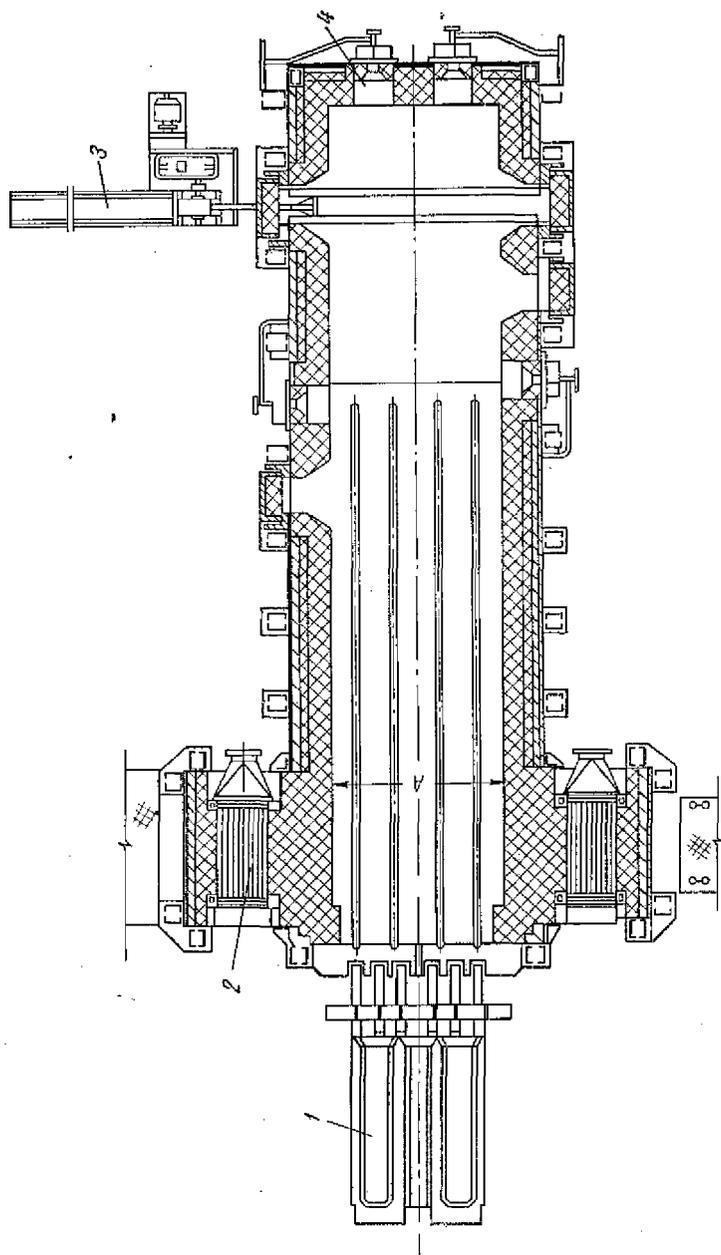


Рис. 3.5. Печь нагревательная методическая (кузнечная) с гладким полом с боковой выдачей заготовок НУО (НУЗ):
 1 – загрузочный толкатель; 2 – рекуператор; 3 – выталкиватель; 4 – горелка

Таблица 3.2

Индекс леги	Размеры рабочего пространства, мм			Размеры загрузочных окон, мм	Условная площадь пода м ²
	А	Б	В		
НУО-6-30/13	580	3016	500	324×580	1,8
НУО-8-30/13	812	3016	570	425×812	2,4
НУО-8-40/13	812	3944	570	425×812	3,2
НУО-10-40/13	1044	3944	720	526×1044	4
НУО-10-50/13	1044	4988	720	526×1044	5
НУО-12-40/13	1160	3944	810	557×1160	4,8
НУО-12-50/13	1160	4988	810	557×1160	6
НУО-12-60/13	1160	6032	810	557×1160	7,2
НУО-14-40/13	1392	3944	1050	650×1392	5,6
НУО-14-60/13	1392	6032	1050	650×1392	8,4
НУО-14-80/13	1392	8004	1058	650×1392	11,2
НУО-16-60/13	1624	6032	1280	690×1394	9,6
НУО-16-80/13	1624	8004	1280	690×1394	12,8
НУО-16-100/13	1624	9976	1280	690×1394	16
НУО-20-80/13	1972	8004	1600	720×1742	16
НУО-20-100/13	1972	9976	1600	720×1742	20

Производительность кг/ч *1	Наибольший расход топлива		Требуемая поверхность нагрева рекуператора м ²	Установленная мощность электродвигателей, кВт	Темп работы наибольший (загрузка — выгрузка) шт/ч	Расход основных материалов для сооружения, т *3		
	природный газ м ³ /ч *2	мазут кг/ч				всего		в том числе металл *4
						при отборе дыма в бороз	при отборе дыма вверх	
400						23	15,7	5
630	85	68	7	12	120	19	14,7	5
550						31	21	7
840	110	88	10	12	120	25	18	6
750						41,5	29	9,5
1150	145	115	12,5	12	120	33,5	25	8,5
950						50	35,5	11
1400	180	145	16	15	120	41	30,5	10
1150						62	45	14
1750	225	180	20	15	120	52	38,5	12,5
1200						60,5	42,5	13,5
1825	220	175	19	15	120	50	37	12
1550						74	53,5	17
2300	270	215	24	15	120	63	46,5	15
1800						89,5	64,5	20,5
2700	325	260	29	15	120	76	55,5	18
1400						69	49,5	15
2100	250	200	22,5	15	90	58,5	40,5	13,5
2250						104	75,5	24
3350	370	295	33,5	15	90	90	64	21
3000						138	101	32
4500	430	345	45	15	90	120	86	28
2550						117,5	86,5	27,5
3850	415	330	38	20	90	103	73,5	24
3400						156,5	116	36,5
5100	515	410	51	20	90	137	98	32
4250						197	145	46
6400	590	470	64	20	90	173	122	40
4250						197	145	46
6400	590	470	64	20	60	173	122	40
5350						246	182	58
8000	680	545	80	20	60	218	152,5	50

3.3. НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ С ВРАЩАЮЩИМСЯ ПОДОМ

Печи — пламенные с кольцевым или тарельчатым подом. На рис. 3.6 представлена печь с кольцевым подом, а в табл. 3.3 приведены данные печей этого типа. Нормализованный ряд печей с тарельчатым подом включает шесть типоразмеров (диаметр × ширина, мм): 1600 × 250, 2000 × 400, 2500 × 400, 2500 × 600, 3000 × 400, 3000 × 600.

Назначение печей — нагрев заготовок различной формы и мелких слитков под ковку или штамповку.

При использовании газового топлива в печах может быть обеспечен малоокислительный нагрев. В этих случаях устанавливают специальные рекуператоры или регенераторы для высокотемпературного подогрева воздуха.

Под печи выкладывают из хромомагнетитового или форстеритового кирпича; можно также применять жаропрочный бетон с форстеритовым или магнетитохромитовым наполнителем.

Между кладкой печи и вращающимся подом предусматривают гидравлический затвор.

Под печи приводится во вращение с помощью механизма, расположенного в приемке под печь. Механизм вращения состоит из набора опорных и упорных (предохраняющих от радиального смещения) роликов и приводов с электродвигателями и командоаппаратами, останавливающими под после поворота на заданный угол. Вращение пода прерывистое. Угол поворота пода неизменной и зависит от постоянного углового шага укладки заготовок.

Печи, работающие с невысоким темпом выдачи тяжелых заготовок (до 60 в час), загружают и разгружают с помощью грейферных захватов или других средств общецеховой механизации.

Печи для нагрева удлиненных (длина более 500 мм) заготовок загружают и разгружают при помощи механических клещей, захватывающих заготовку за один конец. Печи для нагрева, особенно безокислительного, небольших коротких заготовок оснащают механизмами, обеспечивающими полную автоматизацию работы агрегата. Механизмы состоят из механизированного бункера, автоматического питателя, клещей загрузки и выгрузки. Заготовки, беспорядочно уложенные в бункере, выдаются периодически по мере опорожнения накопительного лотка на питатель, который сбрасывает их по одной на позицию захвата загрузочных клещей. Последние вводят заготовку в печь и укладывают ее на желобчатый под; укладка осуществляется в один или в два ряда. Одновременно через окно выгрузки в печь вводятся выгрузочные клещи, которые, захватив нагретую заготовку, выносят ее из печи. После этого под печи поворачивается с помощью механизма вращения на заданный угол. Затем цикл загрузки и выгрузки повторяется.

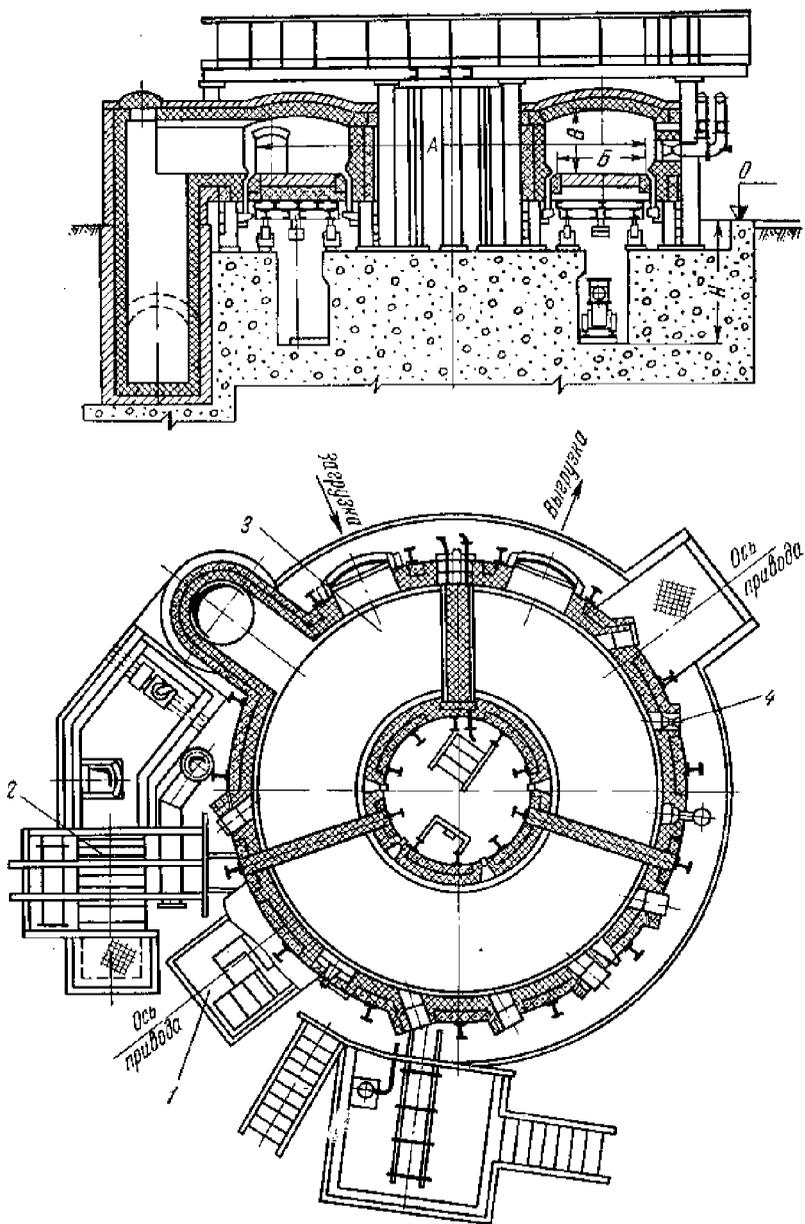


Рис. 3.6. Нагревательные печи с вращающимся кольцевым подом НЛЮК: 1 – привод механизма вращения пода; 2 – рекуператор; 3 – вращающийся под; 4 – горелка

Таблица 3.3

Индекс печи	Размеры рабочего пространства, мм			Размеры загрузки - ных окон, мм	Основная площадь подж., м ²	Производительность кг/ч	Число горелок (форсунок)	Наибольший расход топлива		Требуемая поверх- ность нагрева м ² **	Установленная мощность электрo- двигателей, кВт	Темп работы наи- большой, мин/ч **	Расход основных материалов для сооруже- ния, кг	
	А	Б	В **					припо- ный газ м ³ /ч **	мазут кг/ч				в том числе металл	
НАОК-25-4-3/13	2 500	400	500	300×230	2,6	500	5	60	48	7,5	14	200	22,5	7,5
НАОК-25-6-5/13	2 500	600	500	300×230	3,6	700	5	75	60	11	14	200	31	11
НАОК-30-4-3/13	3 000	400	500	300×230	3,2	650	6	70	56	9,5	18	200	27	9
НАОК-30-6-5/13	3 000	600	500	300×230	4,5	900	6	105	84	13,5	18	200	40	14
НАОК-40-6-5/13	4 000	600	500	300×230	6,4	1 300	7	150	120	19	20	200	56	18
НАОК-40-8-6/13	4 000	800	600	350×230	8	1 600	7	200	160	24	20	200	73	23
НАОК-50-8-6/13	5 000	800	600	300×230	10,3	2 050	8	270	215	32	20	200	92	28
НАОК-50-10-6/13	5 000	1000	600	350×230	12,6	2 500	8	315	250	38	20	200	112	32
НАОК-60-18-6/13	6 000	800	600	350×230	13	2 600	8	320	255	39	24	100	114	34
НАОК-60-10-8/13	6 000	1000	800	520×350	15,7	3 150	8	390	310	47	24	100	134	38
НАОК-80-16-13/13	8 000	1600	1300	690×460	32,2	6 450	9	720	575	96	24	80	242	62
НАОК-80-20-16/13	8 000	2000	1600	690×460	37,5	7 500	9	810	650	112	24	80	267	67
НАОК-100-16-13/13	10 000	1600	1300	690×460	42	8 400	10	880	705	126	28	60	292	72
НАОК-100-20-16/13	10 000	2000	1600	690×460	50	10 000	11	1000	800	150	28	60	298	78

3.4. ЩЕЛЕВЫЕ МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ КОНВЕЙЕРНЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ

Назначение этих печей — нагрев концов штанг перед обработкой на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ). Печи, как было указано выше, только пламенные, в горизонтальном или вертикальном исполнении (табл. 3.4 и рис. 3.7, 3,8).

Для обрамления печных щелей применяют водоохлаждаемые рамы. Обогрев концов штанг в этих печах осуществляется со всех сторон. Остаточная длина штанг (холодного конца, захватываемого механизмом) при диаметре до 100 мм составляет около 350 мм, при диаметре более 100 мм — 600 мм.

Механизмы горизонтальной печи состоят из загрузочного стола с питателем, пластинчатого зубчатого конвейера, конвейера возврата штанг, рольганга и гидравлического подъемника. На загрузочный стол укладывают запас подлежащих нагреву штанг. По мере потребности штанги с помощью питателя сбрасываются по одной на пластинчатый зубчатый конвейер, который перемещает их вдоль рабочего пространства печи в течение времени, необходимого для нагрева до заданной температуры. Одновременно в печи находится ряд нагреваемых штанг, шаг укладки которых соответствует шагу конвейера. Пройдя печь, нагретая заготовка скатывается по склизу на позицию подачи ГКМ. Укороченную после операции ковки штангу укладывают на зубчатый конвейер, возвращающий ее к загрузочному концу печи. Здесь с помощью рольганга штангу перемещают до регулируемого упора, соответствующего положению конца штанги в печи для заданной длины его нагрева. Затем штанга, поднятая гидроподъемником, по шарнирному мостику скатывается на пластинчатый зубчатый конвейер для последующего нагрева. Когда все штанги израсходованы, в печь вводят новые из запаса на загрузочном столе.

Механизмы вертикальной печи состоят из загрузочного стола с питателем, рольганга, горизонтального конвейера-питателя, вертикального конвейера с захватами для штанг, сбрасывателя нагретых штанг и рольганга для подачи штанг в ГКМ. По мере надобности штанги со стола по одной выдаются с помощью питателя на рольганг, перемещающий их до упора в положение, необходимое для обеспечения заданной длины нагрева конца. Затем штанги поступают на горизонтальный питатель, который загружает их в ячейки вертикального конвейера. Последний перемещает штанги по печи в течение времени, необходимого для нагрева. Пройдя печь, нагретая штанга поступает на позицию подачи в ГКМ. После операции ковки укороченную штангу укладывают вручную на загрузочный рольганг, который возвращает ее к печи и доводит до упора, соответствующего положению штанги в печи. С помощью горизонтального конвейера штангу перегружают на вертикальный конвейер для последующего нагрева. После израсходования всех повторно нагреваемых штанг в печь вводят новые штанги из запаса на столе.

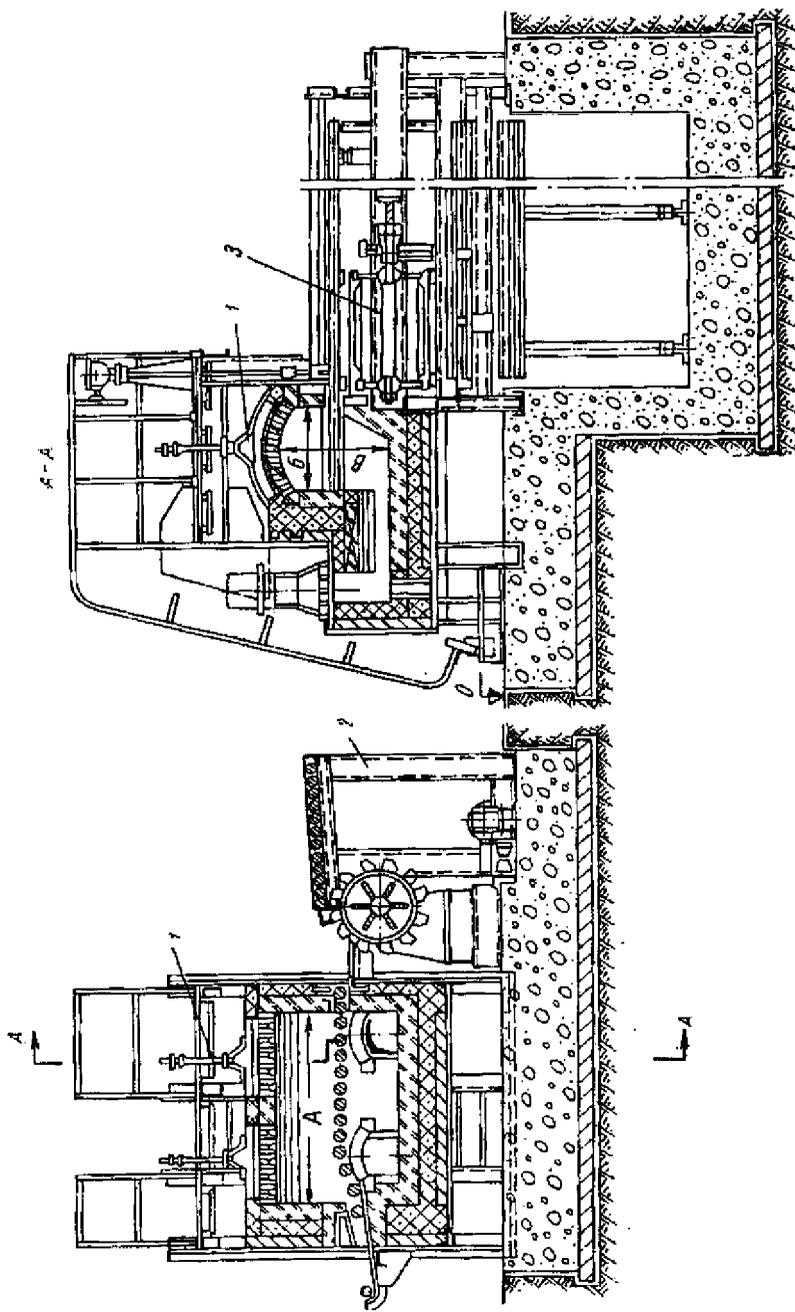


Рис. 3.7. Печь нагревательная целевая механизированная конвейерная (горизонтальное исполнение) ПЦОП.

1 — горелка; 2 — стол загрузки; 3 — конвейер

Таблица 3.4

Индекс печи	Размеры рабочего пространства, мм			Высота загрузочной щели, мм	Диаметр заготовок мм ^{±1}	Условная площадь пода, м ²
	А	Б	В			
<i>Печи щелевые</i>						
НЦОП-10·6·8/13	1044	580	800	100	$\frac{25}{50}$	0,6
НЦОП-12·8·9/13	1276	812	900	100	$\frac{30}{60}$	0,95
НЦОП-16·12·11/13	1624	1160	1100	150	$\frac{40}{100}$	1,9
НЦОП-18·8·9/13	1856	812	900	140	$\frac{40}{80}$	1,45
НЦОП-20·10·16/13	1972	1044	1600	150	$\frac{50}{100}$	2
НЦОП-20·12·16/13	1972	1160	1600	200	$\frac{70}{130}$	2,4
НЦОП-20·16·16·16/13	1972	1624	1600	250	$\frac{80}{150}$	3,2
НЦОП-20·18·18/13	1972	1856	1800	270	$\frac{90}{175}$	3,6
НЦОП-20·22·18/13	1972	2204	1800	300	$\frac{100}{200}$	4,4
<i>Печи щелевые</i>						
НЦОВ-16·12·4,5/13	1600	1160	464	150	$\frac{40}{100}$	1,9
НЦОВ-18·8·4,5/13	1800	812	464	140	$\frac{40}{80}$	1,45
НЦОВ-20·10·4,5/13	2000	1044	464	150	$\frac{50}{100}$	2
НЦОВ-20·12·4,5/13	2000	1160	464	200	$\frac{70}{130}$	2,4
НЦОВ-20·16·4,5/13	2000	1624	464	250	$\frac{80}{150}$	3,2

Производительность кг/ч	Число горелок (форсунок)	Наибольший расход топлива		Требуемая поверхность нагрева рекуператора м ² *3	Установленная мощность электродвигателей, кВт	Расход основных материалов для сооружения, т	
		природный газ м ³ /ч *2	мазут кг/ч			всего	в том числе металла *4
<i>горизонтальные</i>							
210	2	30	24	2,5	14	9	5
330	2	47	37	4	14	14	6
660	2	80	64	7,5	14	22	8
500	2	67	54	6	20	18,5	7
680	3	82	66	8	20	23	8
800	3	92	72	10	20	26	8,5
1050	3	112	91	13	20	30	9,5
1150	6	122	98	14	20	32	10
1350	8	140	112	18	20	36	10,5
<i>вертикальные</i>							
660	4	80	64	7,5	14	26,5	7,5
500	4	67	54	6	14	22	6,4
680	6	82	66	8	20	27,5	7,5
800	6	92	74	10	20	31	7,6
1050	6	112	91	13	20	36	8,5

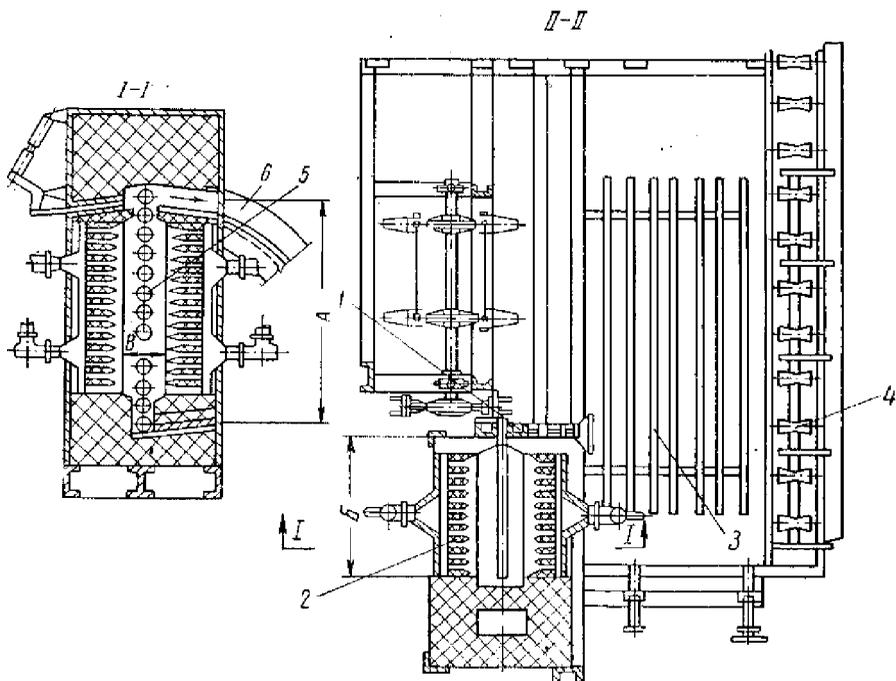


Рис. 3.8. Печь нагревательная щелевая механизированная конвейерная
(вертикальное исполнение) НЦОП:
1 – вертикальный конвейер 2 – горелка; 3 – стол загрузки; 4 – ролик; 5 – рабочая камера; 6 – склиз выгрузки

Глава 4

ПЕЧИ НЕТИПИЗИРОВАННЫЕ РАЗНЫЕ

Печь конвейерная для нагрева под штамповку листовых заготовок диаметром 4500 мм. Заготовки подаются на приемную часть печного конвейера, представляющего собой ряд скрытых под подом бесконечных цепей с гребешками из жаропрочной стали, на которых лежат нагреваемые листы. Движение конвейера — прерывистое. На выходной стороне печи имеется приводной рольганг — вытаскиватель, выводящий нагретые листы за пределы печи. В боковых стенах печи по всей длине рабочего пространства установлены горелки. Печь оборудуется двумя рекуператорами, расположенными в двух боровых печах.

Печь с шагающим подом для нагрева металла под штамповку. Заготовки укладывают на приемный стол, выполненный в виде гребенки, в пазы которой входят футерованные шагающие балки рабочего пода. Механизм, размещенный в приямке под печью, посредством рычагов и эксцентриков сообщает балкам шагающего пода возвратно-поступательное движение с одновременным подъемом и опусканием. Во время этих передвижений заготовки постепенно перемещаются вдоль рабочего пространства печи на величину хода шагающего пода. Дойдя до окна выгрузки, заготовки скатываются вниз по склuzu. Продукты сгорания жидкого или газообразного топлива отбираются у загрузочного торца печи и направляются в дымоотводящую систему. Печь оборудована рекуператором.

Горн для нагрева листов (рис. 4.1). Подлежащие нагреву листы вручную или цеховыми механизмами укладываются сверху на плиту 1 печи и обогреваются продуктами сгорания природного газа, сжигаемого при помощи небольших горелок 2.

Горн для нагрева труб (рис. 4.2). Подлежащие нагреву трубы (или круглые заготовки) 1, укладываемые вручную или цеховыми средствами механизации в специальное гнездо 2 горна, обогреваются продуктами сгорания природного газа, сжигаемого при помощи горелок 3. Дым отводится под зонт.

Горн для нагрева заготовок и труб (рис. 4.3) Горн представляет собой комбинацию малой щелевой печи и гнездового устройства 1 для местного нагрева труб или штанг 2.

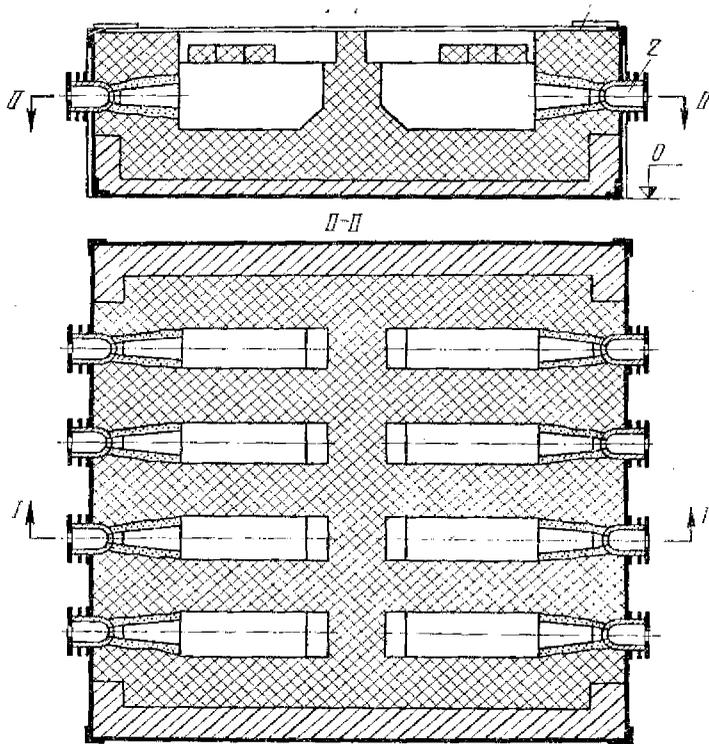


Рис. 4.1. Горн для нагрева листов

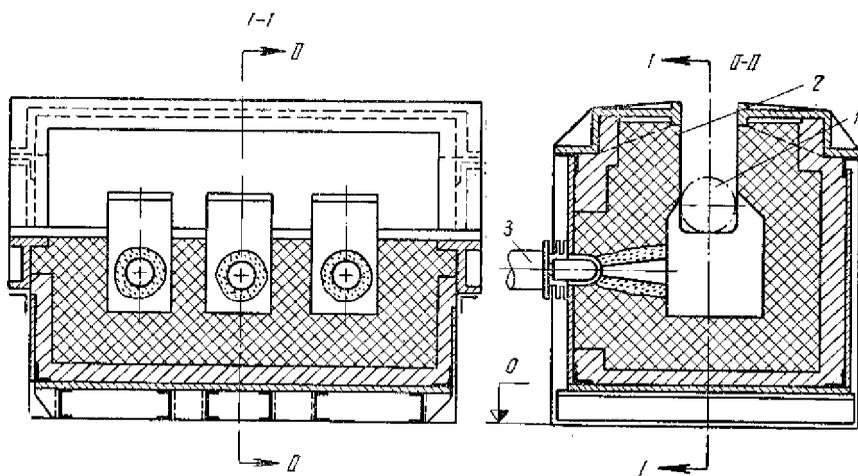


Рис. 4.2. Горн для нагрева труб

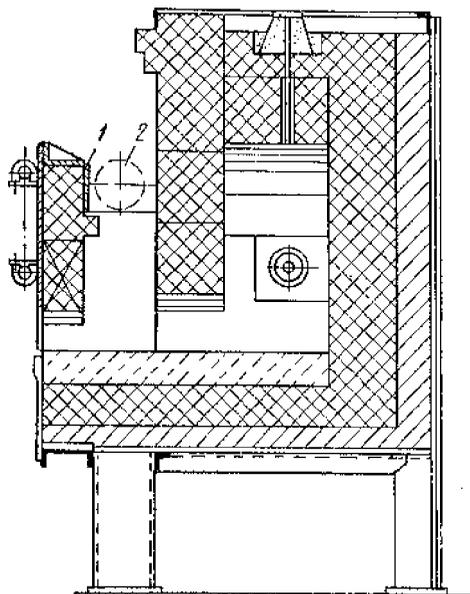


Рис. 4.3. Горн для нагрева заготовок и труб:
1 – гнездовое устройство; 2 – трубы (штанги)

4.1. ПЕЧИ БЕЗОКСИДЕЛЬНОГО НАГРЕВА МЕТАЛЛА ОТКРЫТЫМ ПЛАМЕНЕМ

Схема регенеративной печи с вращающимся подом, проект которой разработан институтом «Теплопроект», приведена на рис. 4.4. Печь оборудована шестью горелками, которые объединены в две группы, расположенные одна против другой, по 3 горелки в каждой. Три вертикальных канала печи, ведущих к каждой группе горелок, объединены в один сборный горизонтальный канал, от которого идет вертикальный канал к регенератору.

На печи установлены два регенератора с перекидными клапанами, каждый из которых (рис. 4.5) состоит из трех последовательно расположенных футерованных цилиндрических камер, соединенных болтами. Передняя часть регенератора является 112 камерой дожигания, в которую снизу из печного канала поступают продукты неполного сгорания, а сверху по трубопроводу — вторичный воздух. Следующая часть регенератора — камера с насадкой из трубок диаметром 15 и толщиной стенки 2,5 мм, уложенных горизонтально в несколько секций; трубки в первых трех секциях — силиконовые, в последующих трех — из стали X25T. Из камеры дожигания продукты полного сгорания, разбавленные воздухом (-1300°C), поступают в секции с силиковыми, а затем со

стальными трубками. Из насадочной камеры отходящие газы (200—300° С) поступают в последнюю, заднюю камеру регенератора, откуда через перекидной клапан подаются к дымососу и направляются в дымовую трубу.

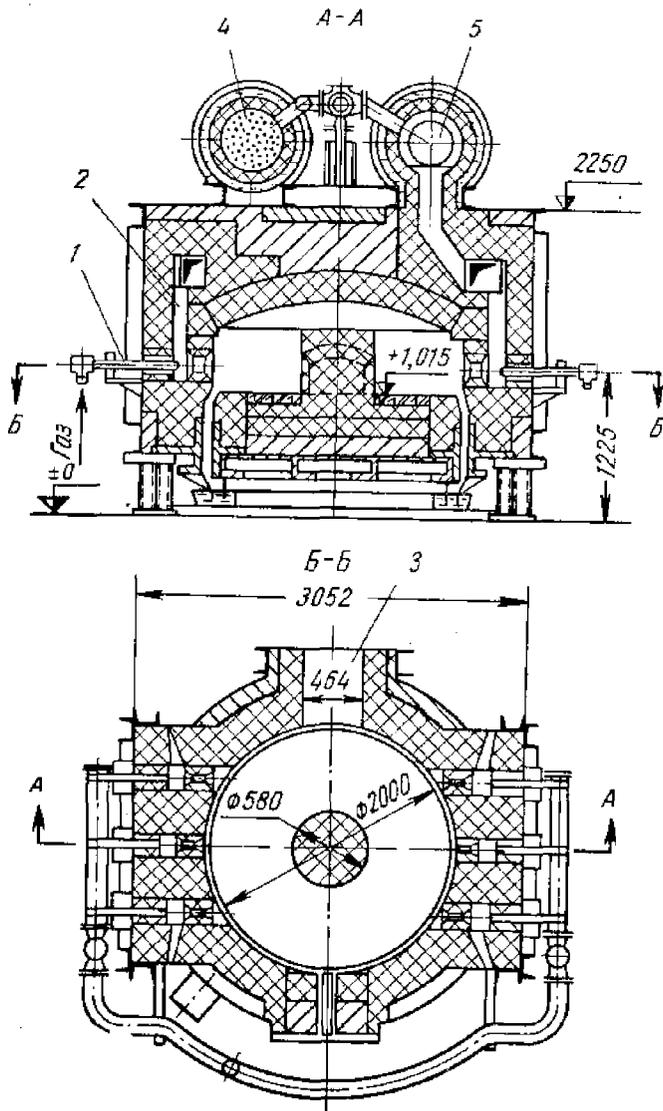


Рис. 4.4. Регенеративная с вращающимся подом печь безокислительного нагрева:
 1 – горелка; 2 – вертикальный канал; 3 – окно загрузки и выгрузки; 4 – регенератор левый; 5 – регенератор правый

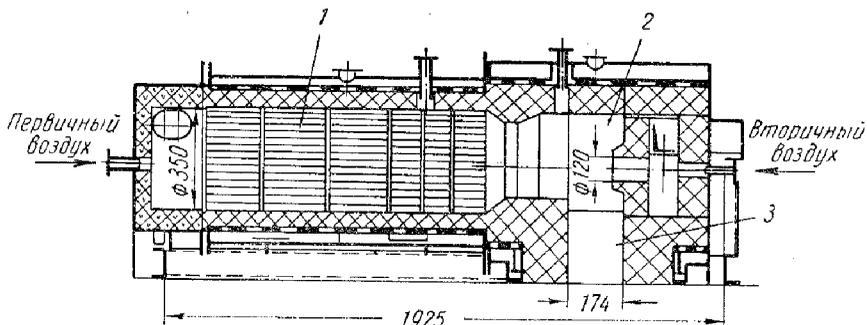


Рис. 4.5. Регенератор:

1 – насадка регенератора; 2 – камера дожигания; 3 – вертикальный канал

Перекидка направления движения дымовых газов и воздуха поочередно через левый и правый регенераторы осуществляется автоматически. Время между перекидками 30 с.

Принципиальная тепловая схема работы печи приведена на рис. 4.6.

Проект камерной регенеративной газовой печи для безокислительного нагрева стальных слитков открытым пламенем (рис. 4.7), сооруженной и пущенной на Новокраматорском машиностроительном заводе (НКМЗ) им. В. И. Ленина [44], разработан на основе исследовательских работ ЦНИИТ-МАШ по безокислительному нагреву.

В рабочее пространство печи выходят двенадцать вертикальных каналов 7, в каждый из которых поступают из двух горелок 2 продукты сгорания топлива; горелки размещены друг над другом по вертикали, а над ними расположена камера 3 для подачи вторичного воздуха.

Подача газа и воздуха и отвод продуктов первичного сгорания осуществляются одновременно с обеих сторон печи. Отводящие и подводящие вертикальные каналы на каждой стороне печи чередуются и против каждого подводящего канала на одной стороне печи расположен отводящий канал на другой ее стороне. К каждому из четырех керамических регенераторов 4 (две пары) подключено по три вертикальных канала.

Холодный первичный воздух подается отдельным вентилятором высокого давления и по общему воздухопроводу поступает во внешние камеры перекидных клапанов. При положении пары перекидных клапанов «открыто» первичный воздух опускается через сводовые окна в боровых и попадает в поднасадочные каналы регенераторов.

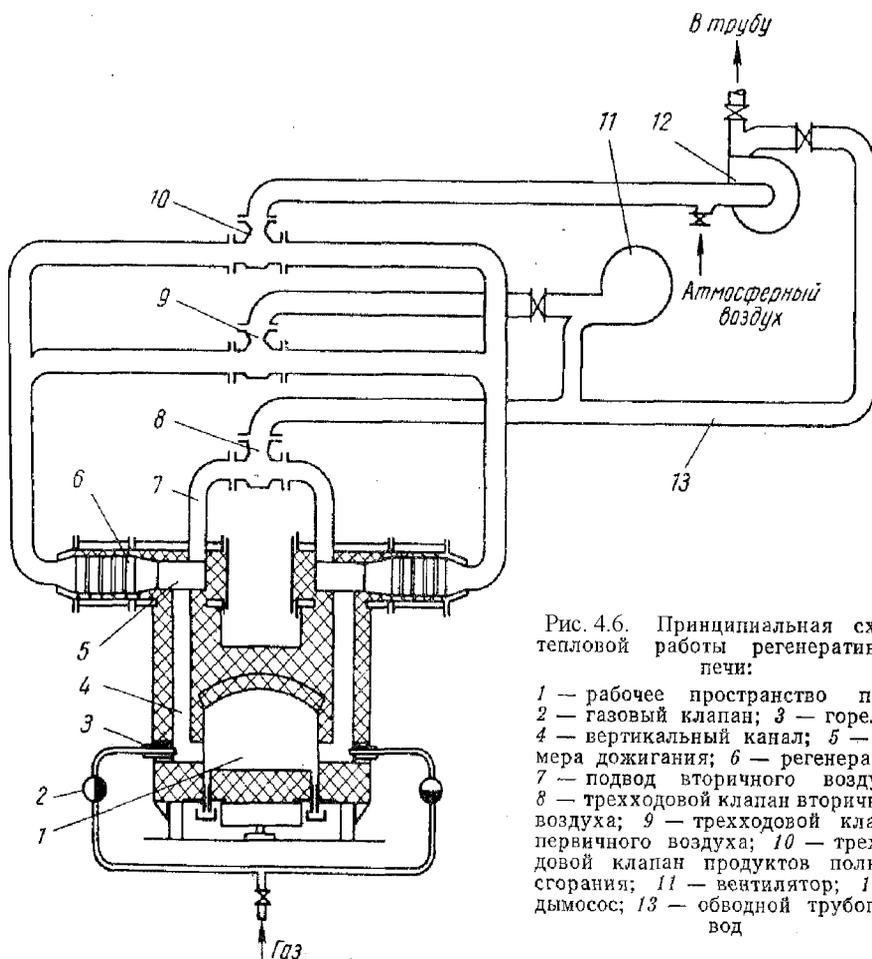


Рис. 4.6. Принципиальная схема тепловой работы регенеративной печи:

- 1 — рабочее пространство печи;
- 2 — газовый клапан; 3 — горелка;
- 4 — вертикальный канал; 5 — камера дожигания; 6 — регенератор;
- 7 — подвод вторичного воздуха;
- 8 — трехходовой клапан вторичного воздуха;
- 9 — трехходовой клапан первичного воздуха;
- 10 — трехходовой клапан продуктов полного сгорания;
- 11 — вентилятор; 12 — дымосос; 13 — обводной трубопровод

В соответствующих вертикальных каналах происходит неполное сжигание газа ($\alpha = 0,4-0,5$ ч), поступающего из газовых горелок верхнего и нижнего рядов.

Покидая рабочую камеру печи, продукты первичного сгорания попадают в отводящие каналы, где происходит их дожигание в результате подачи вторичного воздуха. Затем продукты полного сгорания ($1200-1300^{\circ}\text{C}$) проходят через отводящую пару регенераторов в поднасадочные борова, сводовые окна открытой пары дымовых каналов, поднимаются в дымовой сборник и далее в общий дымовой боров, обслуживающий группу печей.

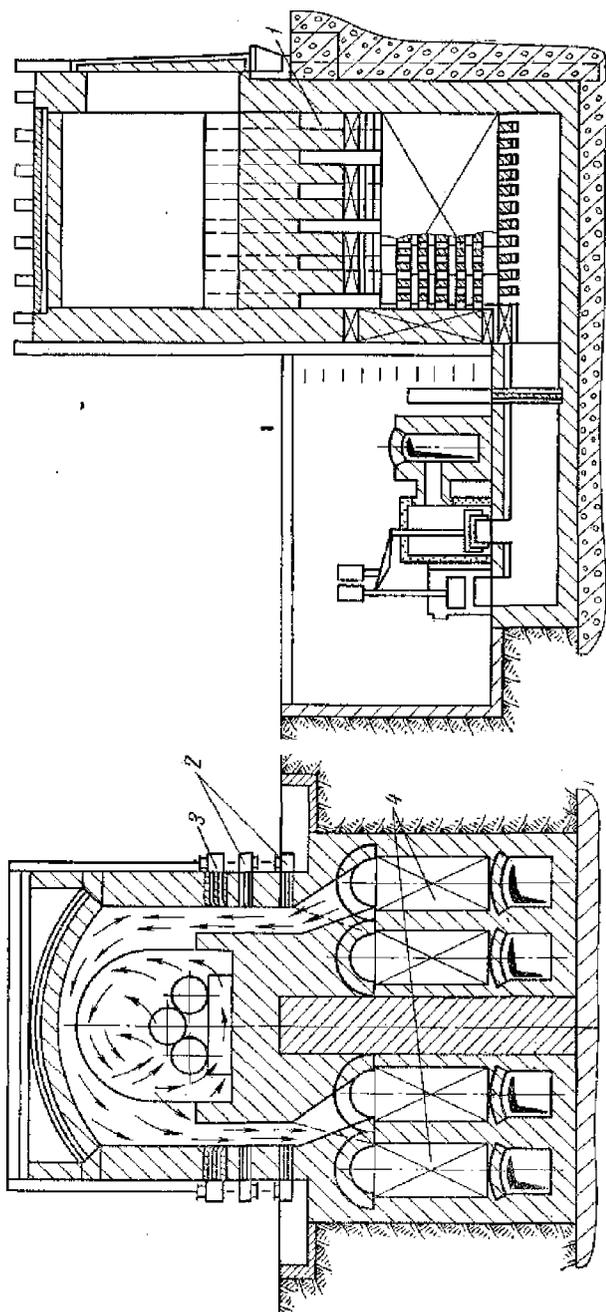


Рис. 4.7. Камерная регенеративная печь для безокислительного нагрева стальных слитков:
 1 – вертикальные каналы; 2 – горелки; 3 – камера подачи вторичного воздуха; 4 – керамические регенераторы

Проведенные исследования на печи НКМЗ показали, что на достижение безокислительного режима нагрева решающее влияние оказывают состав и соотношение компонентов горения в печи, процессы организации сжигания газа, температура подогрева первичного воздуха и характер движения продуктов горения.

Параллельный нагрев слитков из стали 35 в обычной печи и в печи безокислительного нагрева в течение 5 ч при 1250°C показал, что после обычного нагрева толщина окалины составляет 4 мм, а после нагрева в печи безокислительного нагрева суммарная толщина окалины после разведения слитка и его выгрузки из печи на воздух и транспортировки к прессу составила 1 мм, т. е. оказалась в 4 раза меньше. При уменьшении времени, затрачиваемого на выгрузку и транспортировку слитка к прессу, толщина окалины на слитке за 6 ч составила 0,3—0,4 мм.

Тепловой режим работы методических (кузнечных) печей осуществляется следующим образом. К горелкам, расположенным на торцовой стене печи вблизи окна выгрузки, поступает весь газ и предварительно нагретый первичный воздух в количестве, составляющем 50% от теоретически потребного; вторичный воздух подается в печь через свод в зону высоких температур. Конфигурация свода печи обеспечивает возможность передачи излучением тепла, выделяющегося при дожигании продуктов неполного сгорания, в безокислительную зону печи, где температура металла выше 850°C. До 850°C металл нагревается продуктами полного сгорания, но окисляется незначительно; при температурах, превышающих 850°C, металл находится в безокислительной атмосфере.

В проектах печей с вращающимся подом предусмотрен, как указано, промежуточный свод, разделяющий рабочее пространство по высоте на две части: нижнюю — зону безокислительного нагрева металла, где весь газ, поступающий в печь, сжигается при значении коэффициента расхода воздуха $a = 0,5$, и верхнюю — камеру дожигания, где происходит дожигание продуктов неполного сгорания, поступающих из нижней зоны. Продукты полного сгорания удаляются из печи через дымовой канал, в котором установлен рекуператор для подогрева первичного воздуха, поступающего к горелкам нижней зоны, до температуры 600—700°C. Температура в камере дожигания значительно выше температуры безокислительной зоны. Благодаря интенсивной теплопередаче через карборундовый свод часть тепла, выделяющегося при дожигании продуктов неполного сгорания, поступает в безокислительную зону.

4.2. ВАКУУМНЫЕ ПЕЧИ

4.2.1. Общая характеристика

Компактность электромагнитной системы «индуктор–металл», характерная для индукционных тигельных печей, обусловила развитие на их основе разнообразных конструкций индукционных вакуумных плавильных и нагревательных печей, различающихся расположением индуктора вне или внутри вакуумной камеры. Слив металла из тигля плавильных печей может быть через донное отверстие, путем наклона корпуса печи малых размеров или тигля внутри вакуумной камеры больших габаритов в изложницы или литейные формы. Нагревательные печи периодического действия в зависимости от способа загрузки изделий могут быть камерные, шахтные, элеваторные; возможно создание печей непрерывного действия. Плавильные печи, работающие без нарушения вакуума в течение всей кампании тигля, называют печами полунепрерывного действия. Такие печи — наиболее сложные агрегаты, имеющие помимо основной (плавильной) вакуумной камеры с индукционной печью ряд вспомогательных шлюзовых камер для загрузки шихты, разливки, подачи изложниц или литейных форм, дозаторы для присадок, устройство для отбора проб и измерения температуры жидкого металла по ходу плавки и другое технологическое оборудование.

Индукционные вакуумные печи применяют для плавки черных и цветных металлов и их сплавов из чистых твердых шихтовых материалов на частоте 1–2,5 кГц (вместимость до 10–15 т), рафинирования полупродукта на промышленной частоте (вместимость до 60 т), переплава чистых металлов для фасонного литья (вместимостью до 450 кг). Химически активные и особо чистые материалы получают в индукционных вакуумных печах с так называемым холодным тиглем, представляющим собой медный водоохлаждаемый тигель с продольными разрезами, через которые электромагнитные волны проходят к расплавляемому материалу, не поглощаясь в электропроводном тигле.

4.2.2 Особенности тепловой работы

В вакуумных индукционных печах основные принципы теплогенерации, рассмотренные для индукционных тигельных печей, сохраняются. Однако конструктивные особенности электромагнитной системы «индуктор—металл», связанные с возможным расположением индуктора вне вакуумной камеры, наличием металлического кожуха вокруг индуктора и другие, снижа-

ют коэффициент использования электрической энергии из-за увеличения магнитного потока рассеяния и реактивной мощности, не участвующей в теплогенерации.

4.3. ИНДУКЦИОННЫЕ ПЕЧИ

4.3.1. Индукционные плавильные печи

Плавка черных металлов в индукционных печах имеет ряд преимуществ перед плавкой в дуговых печах, поскольку исключается такой источник загрязнения, как электроды. В индукционных печах тепло выделяется внутри металла, а расплав интенсивно перемешивается за счет возникающих в нем электродинамических усилий. Поэтому во всей массе расплава поддерживается требуемая температура при наименьшем угаре по сравнению со всеми другими типами электрических плавильных печей. Индукционные плавильные печи легче выполнить в вакуумном варианте, чем дуговые.

4.3.2 Печи без железного сердечника

В индукционной плавильной печи без железного сердечника главной частью является индуктор, выполняемый обычно из медной трубки и охлаждаемый протекающей по ней водой. Витки индуктора располагают в один ряд. Медная трубка может быть круглого, овального или прямоугольного сечения. Зазор между витками составляет 2-4 мм. Число витков индуктора зависит от напряжения, частоты тока и емкости печи. Витки закрепляют на изоляционных стойках, с помощью которых индуктор устанавливают в каркасе печи. Каркас печи должен обеспечивать достаточную жесткость конструкции, чтобы не нагревались его металлические части, они не должны образовывать электрически замкнутого контура вокруг индуктора.

Футеровка (тигель) индукционной печи работает в очень тяжелых условиях, так как интенсивное движение металла и большие скорости изменения температуры вызывают ее размывание и разрушение, поэтому, чем толще стенки тигля, тем больше срок его службы. Стенки тигля должны быть, возможно, более тонкими, чтобы обеспечить хорошую электромагнитную связь между индуктором и металлом.

Футеровку выполняют кислой или основной. Основой набивочной массы для кислой футеровки служит кварцит с высоким (не менее 95 %) содержанием кремнезема. В качестве связующей добавки используют сульфитно-целлюлозный экстракт и борную кислоту (1,0—2,0%). Набивочная масса для основной футеровки состоит из молотого обожженного или плавленного магне-

зита со связующей добавкой (патока или водный раствор стекла и огнеупорная глина) в количестве 3%. Стойкость кислой футеровки составляет 100—150 плавков для стали и 200—250 для чугуна, а основной футеровки 30—80 плавков для стали и 150 плавков для чугуна.

Поскольку чрезмерный износ футеровки может привести к «проеданию» стенок или днища тигля расплавленным металлом, что является очень серьезной аварией, то на индукционных печах обязательно предусматривается установка датчиков (для замера активного сопротивления футеровки), сигнализирующих о появлении в ней опасных трещин в начале просачивания жидкого металла.

На средних и крупных индукционных плавильных печах тигель закрывается крышкой (сводом), выполняемой обычно набивной из того же огнеупорного материала, что и тигель. Для подъема и отвода крышки в сторону применяют простые рычажные механизмы или гидравлические цилиндры.

В схемы питания всех этих печей включены конденсаторные батареи с целью повышения $\cos \varphi$. Отсутствие дорогостоящих преобразователей значительно снижает стоимость печей, работающих на токе промышленной частоты.

Потери тепла за плавку составляют на индукционных печах такого типа примерно 20—25 %, а потери в токопроводах, конденсаторных батареях и преобразователях частоты достигают 30 %. Поэтому общий КПД индукционных плавильных установок (особенно печей небольшой емкости), работающих на токе высокой частоты, невысок и составляет примерно 0,4, возрастая с увеличением емкости печей до 0,6. Показатели работы крупных индукционных печей, работающих на токе промышленной частоты, выше и их общий КПД достигает 0,8.

Улучшение показателей работы индукционных плавильных установок достигается правильной подготовкой шихты и ее рациональной загрузкой, снижением потерь тепла из печи и уменьшением времени простоев на ремонт футеровки, а также максимально возможным использованием мощности преобразователя частоты. Для этой цели обычно используют один общий преобразователь для питания двух печей.

4.3.3 Печи с железным сердечником

Плавильная индукционная печь с железным сердечником состоит из футерованной рабочей емкости шахтного или барабанного типа, где сосредоточена основная масса металла, железного сердечника (магнитопровода) с индукто-

ром и узкого канала, заполненного металлом. Если рассматривать эту печь как трансформатор с первичной обмоткой-индуктором, то канал играет роль одновитковой вторичной обмотки. Тепловыделение происходит в металле, находящемся в канале. Расплавленный металл, вследствие разности плотностей, а также возникающих в нем электродинамических усилий, циркулирует между каналом и шахтой печи, отдавая тепло находящемуся в ней металлу. Угар металла очень мал, так как нагрев до высокой температуры происходит в канале, изолированном от окружающей среды.

Футеровка канала (подовый камень) работает в очень тяжелых условиях, поскольку интенсивное движение перегретого до высокой температуры металла приводит к ее разрушению. Футеровку подового камня выполняют обычно набивной по металлическому шаблону с последующим обжигом и спеканием непосредственно в печи; металлический шаблон при этом расплавляется. Для набивки используют массу на кварцевой, магнезитовой и корундовой основах с применением в качестве связующих добавок огнеупорной глины, молотого стекла, борной кислоты и буры. Стойкость футеровки подового камня при плавке цветных металлов и сплавов составляет несколько тысяч плавов. При плавке чугуна, имеющего температуру разлива 1400—1450 °С, стойкость футеровки подового камня обычно не превышает 500 плавов.

Индуктор имеет обычно принудительное воздушное охлаждение, осушаемое при помощи вентилятора; иногда витки индуктора изготавливают из трубки и охлаждают водой.

Питание плавильных печей с железным наконечником проводится током промышленной частоты с напряжением 220—1000 В через автотрансформаторы, позволяющие регулировать подводимую к печи мощность. Для повышения $\cos \varphi$ в схему питания включают конденсаторы.

Индукционный нагрев в прокатном производстве находит также применение для промежуточного подогрева на сортовых многоклетевых станах, где температура заготовки сильно снижается в процессе прокатки. Так, при начальном сечении заготовки 120x120 мм и конечном 36x36 мм установка между клетями стана индукционной нагревательной секции длиной 3 м и индукционной томильной секции длиной 2 м позволяет повысить в процессе прокатки температуру заготовки на 150—200 °С. Для этой цели требуется мощность индукционной установки около 600 кВт при частоте питающего тока 3000 Гц. Подаваемая мощность зависит от производительности стана. Включение ин-

дукционной установки производится автоматически по сигналу от фотоэлемента, установленного после 1-й клетки стана

Индукционный нагрев получил очень широкое распространение для термической обработки различных деталей проката, в частности, для поверхностной закалки, для которой он исключительно удобен и эффективен. Так, при производстве рельсов осуществляют поверхностную закалку их головок. Благодаря питанию индуктора током повышенной частоты возникает поверхностный эффект и плотность тока на поверхности металла оказывается выше, чем в середине. В результате нагрев головки рельса происходит неравномерно и значительная часть мощности выделяется в поверхностном слое металла.

4.4. ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ ДВУХКАМЕРНЫЕ ПЕЧИ

Непрерывно увеличивающееся производство и потребление алюминия приводит к росту отходов (стружки, обрезки, брака и пр.), образующихся при изготовлении полуфабрикатов и различных изделий. Растет также масса вышедшего из оборота металла в виде машин и предметов быта (лома).

Наибольшее распространение получили универсальные пламенные отражательные печи, в которых плавят любое сырье: стружку, обрезь, самолетный и кусковой лом с железными приделками и др. Они имеют высокую производительность и просты в обслуживании.

Для футеровки пламенных отражательных печей, как и для плавильных агрегатов других конструкций, применяют шамот, который характеризуется низкой теплопроводностью, не взаимодействует с флюсами, с печной атмосферой, а также обладает относительно высокими механическими свойствами в рабочих условиях и удовлетворительной устойчивостью к перемене температур. В состав шамота входят оксиды кремния, алюминия, хрома, кальция, магния, циркония.

Для футеровки стен печи используют шамотный кирпич с суммарной пористостью 20–23 % и плотностью 2–2,1 г/см³; предел прочности при сжатии в холодном состоянии 30–50 МПа. Шамотные кирпичи, соприкасающиеся с расплавленным алюминием, должны обладать повышенной плотностью, а образующие свод — большой пористостью, что обеспечивает низкую теплопроводность.

Магнезит, практически не взаимодействующий с расплавленным алюминием, иногда применяют для футеровки плавильных печей. Однако по сравне-

нию с шамотом он более теплопроводен, поэтому при одинаковой толщине стенки потери тепла выше. Увеличение толщины топок важно особенно для поворотных печей, которые из-за высокой объемной плотности магнетита приходится конструировать более тяжелыми.

Пламенные отражательные печи бывают двух типов: одно- и двухкамерные. Однокамерные печи имеют некоторые преимущества перед двухкамерными, они более компактны, их сооружение и ремонт дешевле, но производительность ниже, чем двухкамерных, на 25-30 %, а расход топлива выше. При меньшем использовании тепла отходящих газов тепловой КПД печей заметно ниже двухкамерных, но более эффективна регулировка теплового режима, а образовавшийся в ванне расплав менее загрязняется пылью отходящих газов. В настоящее время, когда появилось большое количество маломощных предприятий по переработке алюминиевых отходов и лома, где плавку ведут небольшими по массе порциями, однокамерные печи емкостью 10-15 т для них более предпочтительны.

На крупных заводах применяют двухкамерные печи, сочетающие функции плавильного агрегата (одна камера) и копильника-миксера (другая камера) для корректировки химического состава, рафинирования и хранения металла на период разливки. Обе камеры размещаются в одном корпусе. Под плавильной камеры (рис. 4.8) расположен выше пода копильника, в который металл переливается из плавильного пространства самотеком. Такая конструкция по сравнению с однокамерными печами существенно увеличивает производительность, тепловой КПД и практически осуществляет непрерывность процесса плавки. Двухкамерные печи делятся на прямоточные и противоточные. В прямоточных печах отходящие газы и пламя горелок перемещаются по направлению движения металла из плавильного пространства в копильник. В противоточных печах, наоборот – греющие газы из копильника попадают в плавильное пространство. Такое расположение камер, горелок, борова, предложенное ВНИИП и Горцветметом (ДонИЦМ), исключает недостатки прямоточной печи. Поэтому регулировать тепловой режим копильника просто. Устраняется вероятность загрязнения металла копильника пылевидной составляющей отходящих газов. Отмечается, что противоточные печи работают с более высоким тепловым КПД и приготовленные сплавы меньше загрязнены неметаллическими примесями.

Под в обеих камерах имеет уклон от загрузочных окон к задней стенке печи. Это важнейшее преимущество по сравнению с другими плавильными

печами, поскольку возможно легко удалять из расплава железные приделки и шлак через загрузочные окна.

Каждая камера располагает двумя загрузочными окнами, закрытыми дверцами, которые опускаются или поднимаются механизмом, закрепленным на каркасе печи. Пороги окон находятся на высоте 1000-1100 мм от уровня пола цеха.

Металлический каркас укрепляет кладку и на нем устанавливаются все элементы гарнитуры печи. Кладка пода печи опирается на рамную металлическую конструкцию, создающую зазор между подом и фундаментом печи, обеспечивающий естественную вентиляцию, увеличивающую срок службы печи.

Горелки размещают на торцевой стенке кладки, на противоположном торце – дымоход, сообщающийся с боровом – каналом, идущим к газоочистным устройствам и вытяжной трубе. Тепловой КПД отражательных пламенных печей составляет 25 %, производительность печи емкостью 20 т – 2,6 т/ч.

Недостаток пламенных отражательных печей – сравнительно низкий тепловой КПД, относительно высокие безвозвратные потери металла, образующиеся при плавке, загрязненность отходящих газов пылевидной фракции (хлориды, оксиды), что требует значительных затрат на газоочистку.

Для улучшения показателей работы печей в настоящее время внедрены или готовятся к внедрению усовершенствованные конструкции. Например, при глубокой ванне трудно перемешивать металл. Эту операцию в течение плавки производят несколько раз для выравнивания химического состава и температуры в объеме ванны, увеличения площади соприкосновения с рафинирующими флюсами, повышения скорости растворения тугоплавких легирующих добавок, ликвидации местного перегрева, поэтому перспективно газодинамическое перемешивание. Принципиальная схема метода для вакуумной печи представлена на рис. 4.8. В канал, сообщающийся с ванной, подают под давлением азот, который оттесняет металл в канале на некоторую глубину, затем при резком снижении давления металл в трубе занимает прежний уровень. Создающиеся колебания всего объема металла обеспечивают его интенсивное перемешивание во всей ванне.

Большое значение для экономичной работы печи имеет коэффициент избытка воздуха, при значении его 100 % (часто встречается на практике) термический КПД печи снижается на 35 %. В производственных условиях вполне достижим избыток воздуха 5 %, который чаще всего возникает в результате

подсоса через неплотности в загрузочных окнах. Это можно предотвратить работой печи при положительном давлении, которое достигается автоматизированным управлением шибера.

Дополнительный, не меньший эффект получается при рациональной организации производства, т. е. сокращением длительности загрузки шихты, ее нагрева, рафинирования и разливки металла. Перечисленные мероприятия позволяют снизить удельный расход энергии на 35-40 %.

Дутье с добавкой кислорода в количестве 5-7 % применяют на некоторых зарубежных заводах. Жидкий кислород последовательно подают в испаритель, фильтр. Затем через редуктор и расходомер – в воздухопровод. Удельный расход кислорода (приведенный к нормальным условиям) 0,0264 м³/кг.

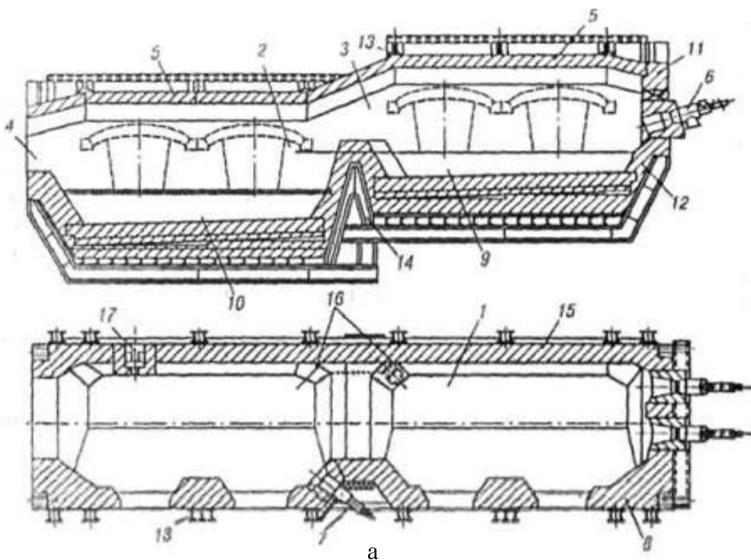
Применение добавки кислорода способствует увеличению температуры пламени на 200°С, факел при этом становится короче, не омывает свод, что продлевает срок его службы, повышается КПД печи, производительность, снижается угар металла и расход дутьевого воздуха. Органические примеси шихты (масла, пластмасса, краски) сгорают практически полностью. Это уменьшает затраты на газоочистку.

Применение кислорода по приведенной выше схеме дает существенный экономический эффект при незначительных капитальных затратах.

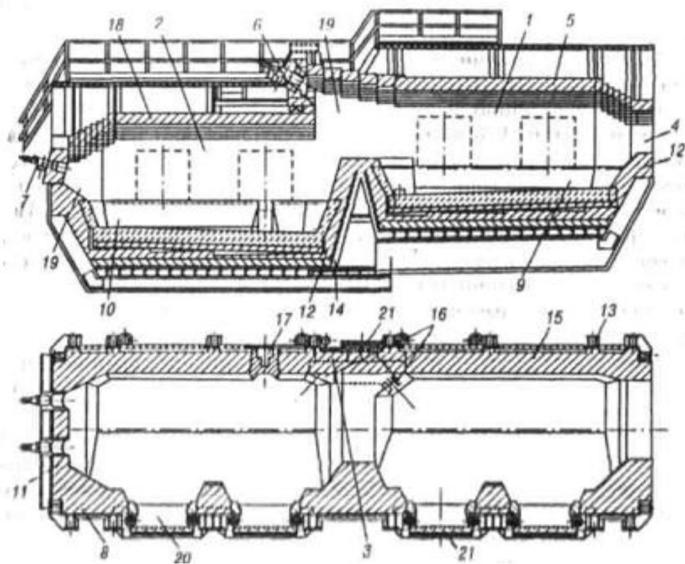
Цилиндрическая форма ванны позволяет эффективнее перемешивать металл. Большой размер загрузочных окон представляет определенные удобства при загрузке крупногабаритной шихты, снижает вероятность повреждения элементов их конструкции. Перелив металла по протяженному открытому желобу приводит к тепловым потерям. Желоб обычно укрывают по всей длине железным коробом.

Загружать нишу большими порциями или крупногабаритными, неразрезанными кусками возможно, используя конструкции пламенных отражательных печей со съемными или сдвигаемыми сводами (рис. 4.8) Кратковременность операции загрузки повышает КПД и производительность печи.

На некоторых зарубежных заводах крупногабаритный лом, сильно загрязненный конструкционно-связанным железом, переплавляют в шахтных печах. Эти печи работают с более высоким тепловым КПД (~ 60 %), поскольку загружаемая и движущаяся сверху вниз шихта прогревается идущими навстречу горячими отходящими газами. В печь можно загружать почти не разделанную шихту, без подсушки (влажную) объемом до 10 м за одну завалку, что повышает производительность печи и труда обслуживающего персонала.



а



б

Рис. 4.8. Двухкамерные отражательные печи: а — прямоточная; б — противоточная; 1 — плавильная камера; 2 — копильник; 3 — переточное окно; 4 — дымовое окно; 5 — свод; 6 — горелка плавильной камеры; 7 — горелка копильника; 8 — передняя стенка; 9 — ванна плавильной камеры; 10 — ванна копильника; 11 — горелочная стенка; 12 — откос; 13 — стойка каркаса; 14 — междукамерный холодильник; 15 — задняя стенка; 16 — переточные летки; 17 — выпускная летка; 18 — свод копильника; 19 — форкамера; 20 — порог; 21 — заслонка

4.5. ПЛАЗМЕННЫЕ ПЕЧИ

4.5.1. Общая характеристика

Работа плазменных печей (установок плазменного нагрева) основана на использовании газоразрядной плазмы в качестве теплоносителя. Достаточная электрическая проводимость плазмы обеспечивает преобразование электрической энергии в тепловую за счет токов проводимости $I_{\text{пр}}$, подводимых через электроды (кондукционный способ) или возбуждаемых переменным электромагнитным полем (индукционный способ). Поскольку формирование плазмы связано с эндотермическими процессами диссоциации и ионизации газов, плазма характеризуется достаточно высоким энергосодержанием, позволяющим использовать её в энергоёмких пирометаллургических процессах, в том числе для плавки высоколегированных сталей и сплавов, прямого восстановления металлов из руд и получения ферросплавов.

Плазмотрон – устройство для преобразования электрической энергии источника питания в тепловую энергию струи (потока) плазмы, т.е. плазменный генератор. В зависимости от способа преобразования электрической энергии в тепловую различают плазмотроны: дуговые, индукционные (высокочастотные) и электронные (сверхвысокочастотные).

4.5.2. Принцип работы плазмотрона косвенного действия

Принцип работы плазмотрона косвенного действия используют в тех случаях, когда замкнуть электрическую цепь между электродом плазмотрона и нагреваемым материалом нельзя. Схема такого плазмотрона показана на рис.4.9. Вокруг водоохлаждаемого катода 1 находится водоохлаждаемый корпус 3. В щель между катодом и корпусом подают плазмообразующий газ 2. Корпус отделяют от водоохлаждаемого сопла – анода 6 изоляционные вставки 4. Катод и анод соединяют электрической сетью 9. Между катодом и анодом зажигается электрическая дуга 5. Дуга ионизирует плазмообразующий газ главным образом путём термической ионизации. Конструктивное оформление катодно-анодного участка выполнено так, что дуга сжимается относительно холодными слоями газа и собственным магнитным полем дуги. Это противодействует расширению площади дуги (как это наблюдается при свободно горящей дуге) и повышает плотность тока в дуге.

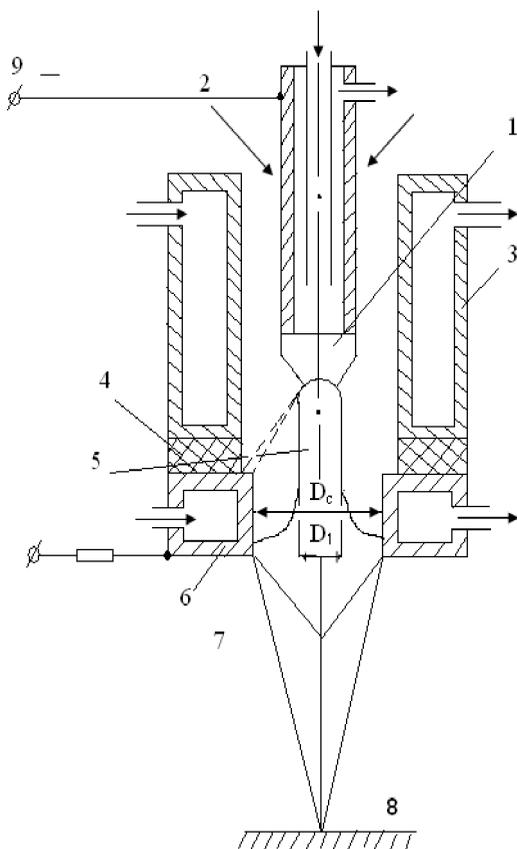


Рис. 4.9. Плазматрон с независимой дугой (косвенного действия):

- 1 – катод; 2 – плазмообразующий газ; 3 – водоохлаждаемый корпус;
- 4 – изоляционная вставка; 5 – электрическая дуга; 6 – водоохлаждаемый анод;
- 7 – плазменная струя; 8 – нагреваемый материал; 9 – электрическая сеть

Все элементы плазматрона охлаждаются водой, поэтому часть тепла, которая выделяется в горячей дуге, передается системе охлаждения, вследствие чего КПД плазматрона сравнительно невысок. Его можно повысить расходом плазмообразующего газа Q_v (рис. 4.10), однако при этом падает средняя температура струи плазмы, выходящей из сопла плазматрона. Среднюю температуру плазмы можно повысить увеличением подводимой мощности P (рис.4.11). Нелинейность повышения температуры при этом в первую очередь объясняется повышением теплопроводности и излучения столба плазмы.

Одним из недостатков плазмотронов с независимой дугой является высокая тепловая нагрузка в месте анодного тепла, что может привести к разрушению материала анода. Поэтому иногда на анод устанавливают магнитную катушку, которая своим полем вращает анодное пятно по поверхности анодного сопла, что увеличивает время службы плазмотронов.

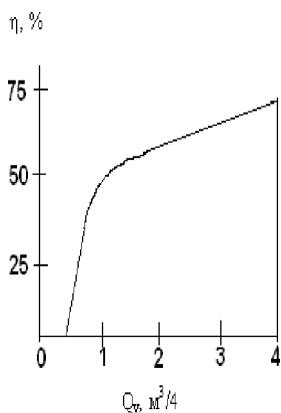


Рис. 4.10. Зависимость КПД плазмотрона косвенного действия от расхода аргона

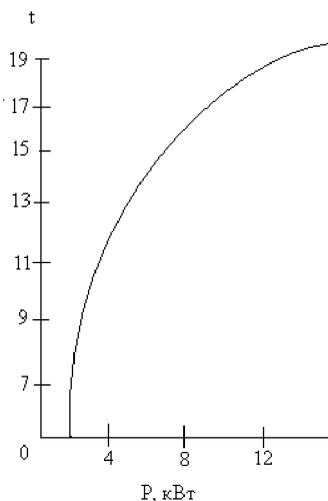


Рис. 4.11. Зависимость средней температуры плазменной струи от подводимой мощности

4.5.3 Принцип работы плазмотрона прямого действия

В настоящее время для металлургических целей, особенно для переплава металла, применяют мощные плазмотроны, работающие с зависимой дугой (рис. 4.12). При помощи таких плазмотронов можно достичь гораздо большей мощности, чем при использовании плазмотронов косвенного действия. Надо, однако, учитывать, что при этом конструкция должна выдерживать более высокие тепловые нагрузки во всех основных частях плазмотрона. Высокая концентрация тепловой энергии достигается дросселированием электрической дуги с помощью сопла. Сопло одновременно стабилизирует дугу. При использовании таких плазмотронов 75% передаётся материалу электрической дугой и лишь 25% потоком плазмы. Дросселирование столба дуги повышает плотность

тока, концентрацию энергии и напряжение дуги, что, в свою очередь, повышает температуру выходящего из плазмотрона потока плазмы до 16000 К и выше, тогда как у плазмотрона косвенного действия эта температура не превышает 5500 К.

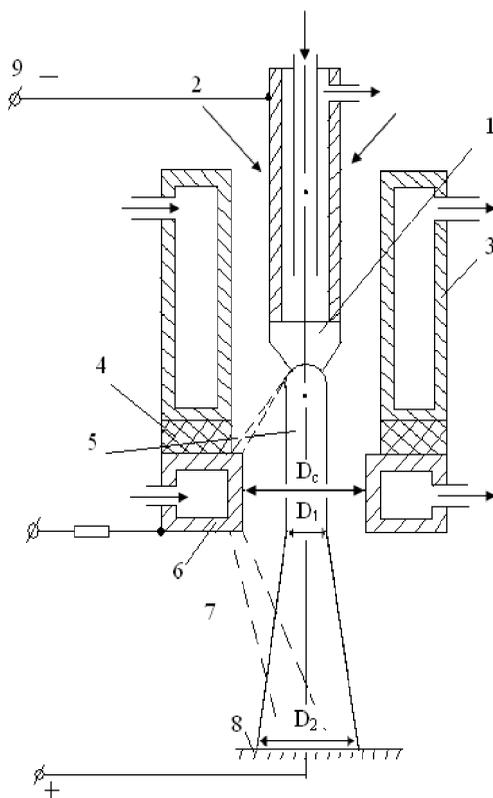


Рис.4.12. Плазмотрон с зависимой дугой (прямого действия), обозначения см. рис. 4.9

На рис. 4.12 видно, что характер образования столба дуги значительно отличается от него же в плазмотроне косвенного действия. Столб дуги здесь намного длиннее, что существенно влияет на распределение напряжения. Из рис. 4.12 также видно, столб дуги в сопле изолирован от хорошо проводящего материала сопла лишь тонким слоем газа. Хотя этот слой газа намного холоднее, чем ионизированная плазма, он, как и изоляция, весьма ненадёжен. Из этого следует, что надо исключить возможность раздвоения дуги при пробое,

когда образуются дуги между катодом и соплом, а также между анодом и соплом. Пробои и последующие раздвоения дуги нарушают режим работы, являются опасными для стойкости элементов плазмотрона и снижают мощность. Поэтому основным требованием при эксплуатации плазмотронов прямого действия является исключение пробоев.

4.5.4. Плазмообразующие газы

Из табл. 4.1 следует, что состав плазмообразующей смеси сильно влияет на энергетические параметры электрического разряда и плазменной струи.

Т а б л и ц а 4.1. *Характеристики плазмообразующих газов*

Параметры	Плазмообразующие газы			
	аргон	азот	водород	гелий
Молекулярная (атомная) масса.....	39,940	28,016	2,016	4,002
Плотность, кг·м ⁻³ :				
при нормальных условиях.....	1,78	1,25	0,084	0,178
T=1,2·10 ³ К и p~0.1 МПа.....	0,048	0,018	-	-
Удельная теплоёмкость при нормальных условиях, кДж/(кг·К ⁻¹).....	0,52	1,04	14,2	5,26
Коэффициент теплопроводности, Вт(м·К) ⁻¹ :				
при нормальных условиях.....	0,0163	0,0243	0,174	0,151
T=1,2·10 ³ К и p~0.1 МПа.....	0,42	2,63	3,45	2,29
Электропроводность, см/м ⁻¹ , при T=1,2·10 ³ К и p~0.1 МПа.....	3650	2740	1400	6300
Энергия диссоциации, МДж·моль ⁻¹		0,72	0,43	-
Потенциал ионизации, В:				
однократной.....	15,76	14,53	13,595	24,59
двукратной.....	27,7	29,6	-	54,38
Энергия ионизации, МДж·моль ⁻¹				
однократной.....	1,50	1,40	1,35	2,36
двукратной.....	2,65	2,83		6,22
Энтальпия плазмы, кДж·моль ⁻¹ :				
при T=1,2·10 ³ К и p~0.1 МПа.....	6,15	50,3	460,9	49,9
T=1,5·10 ³ К и p~0.1 МПа.....	34,6	121,5	1383	74,4

В настоящее время используют 2 типа плазменно-дуговых печей: с огнеупорной футеровкой и с водоохлаждаемым кристаллизатором. В обоих типах плазменно-дуговых печей переплав можно осуществить в вакууме или в регулируемой газовой атмосфере.

4.5.5. Плазменно-дуговые печи с кристаллизатором

Плазменно-дуговые печи с кристаллизатором имеют большие перспективы, так как плазменный нагрев успешно применяется как при переплаве высококачественных сталей и сплавов, так и тугоплавких металлов. В водоохлаждаемом кристаллизаторе непосредственно получается слиток. Процесс хорошо регулируется в широких пределах скорости переплава, печное устройство сравнительно простое. Эти печи используют при пониженном, нормальном и повышенном давлении. Слитки производят массой от 100 кг до 5 тонн. Путём изменения скорости вытягивания слитка можно создать различные условия кристаллизации и перегрева жидкого металла. Регулированием атмосферы печи легко осуществить различные технологические операции (дегазацию, азотирование и т.д.). Такие печи строят в двух вариантах: с боковой подачей шихты (рис. 4.13,а) и с центральной подачей шихты (рис. 4.13,б). Строят также печи с горизонтальными кристаллизаторами. Из-за отсутствия огнеупорной футеровки обслуживание этих печей облегчается, но энергетические показатели их хуже, чем в печах с футеровкой. К подготовке шихты здесь также предъявляются более высокие требования. Но из-за отсутствия огнеупорной футеровки можно плавить металлы, температура расплавления которых превышает температуру эксплуатации огнеупоров. Одним из преимуществ таких печей является возможность выплавления слитков весьма высокой чистоты.

Особенности тепловой работы. Теплообменные условия характеризуют теплопередачу от плазменной дуги в рабочее пространство ПДП: на боковую поверхность футеровки происходит в основном излучение (до 85-95% всего теплового потока) от плазменной дуги как линейного высокотемпературного (100000-25000 К) излучателя; на ванну в зоне анодного пятна поступает 35-50% тепла в результате конвективного переноса плазмы из столба дуги.

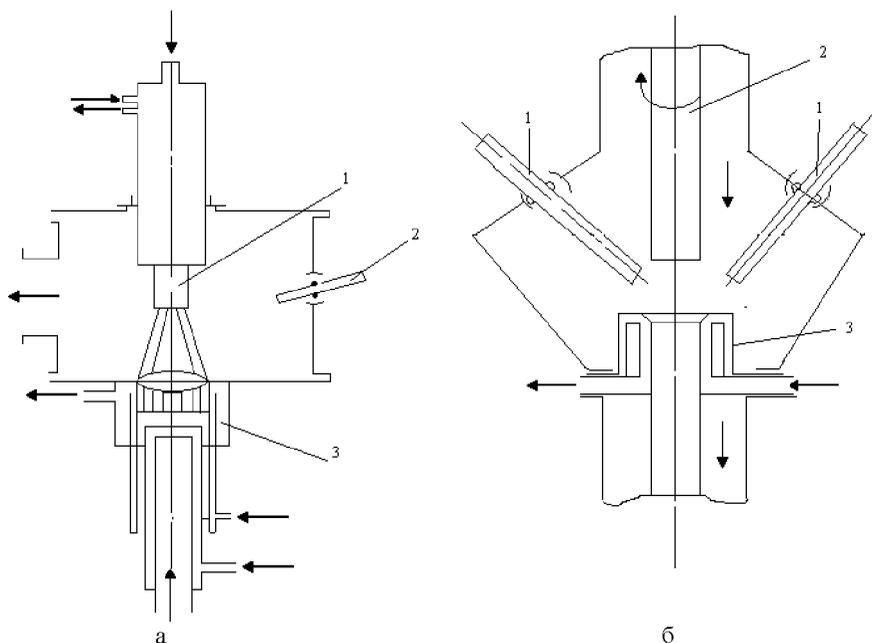


Рис.4.13. ПДП с водоохлаждаемым кристаллизатором: а – боковая подача шихты; б – центральная подача шихты; 1 – плазматрон; 2 – шихта; 3 – кристаллизатор

Технико-экономические показатели

ПДП с огнеупорной футеровкой имеют худшие энергетические показатели по сравнению с ДСП из-за дополнительных тепловых потерь в плазматронах и подовом электроде. Общие потери энергии в водоохлаждаемых элементах достигают 35–40%, из которых 15–20% – в уплотнителе плазматрона; 8–10% – в самом плазматроне (корпус, сопло, катод); 1–2% в подовом электроде. Для малых печей (емкостью до 5 тонн) тепловой КПД составляет по данным ВНИИЭТО 0,3–0,35.

4.6. СЕКЦИОННЫЕ ПЕЧИ

Секционные печи применяют для скоростного малоокислительного нагрева относительно тонких, как правило, круглых заготовок перед прокаткой (например, на шаропрокатных станах) и труб под термообработку.

Принципиальная схема автоматического контроля и регулирования теплового режима секционной печи показана на рис. 4.14.

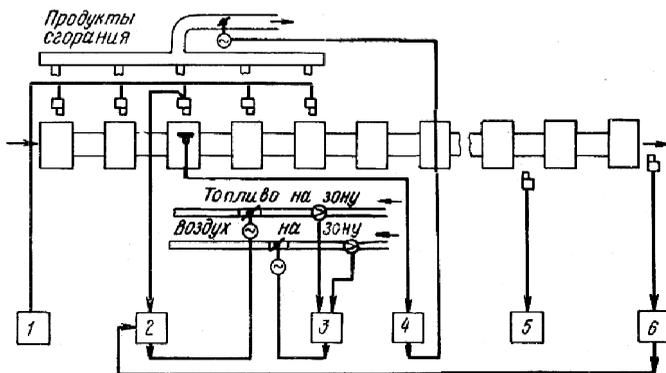


Рис. 4.14. Принципиальная схема управления тепловым режимом секционной печи: 1 – измерение температуры в секциях; 2 – регулирование температуры в зоне (в средней секции); 3 – регулирование соотношения топливо – воздух на зону; 4 – регулирование давления в зоне; 5 – измерение температуры металла; 6 – регулятор, корректирующий задания зональным регуляторам по температуре металла

4.7. ТОЛКАТЕЛЬНАЯ ПЕЧЬ. НАЗНАЧЕНИЕ ПЕЧИ И ПРИНЦИП ЕЕ РАБОТЫ

Пластическая деформация и термическая обработка металла протекают при высоких температурах. Основными агрегатами для нагрева металла являются печи, в которых выделяется теплота в результате горения топлива или преобразования электрической энергии (рис. 4.15).

Печи должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Обеспечивать высокую производительность при заданных технологических условиях нагрева.
2. Минимальный удельный расход топлива.
3. Возможность изменения производительности и ассортимента нагреваемых изделий.
4. Наличие механизации загрузки и выгрузки изделий.
5. Простота и безопасность обслуживания и ремонта.
6. Возможность автоматического управления печью.

В кузнечных цехах крупносерийного и массового производства большое распространение получили печи, имеющие большую производительность.

В толкательных проходных печах загрузка и выгрузка осуществляются непрерывно.

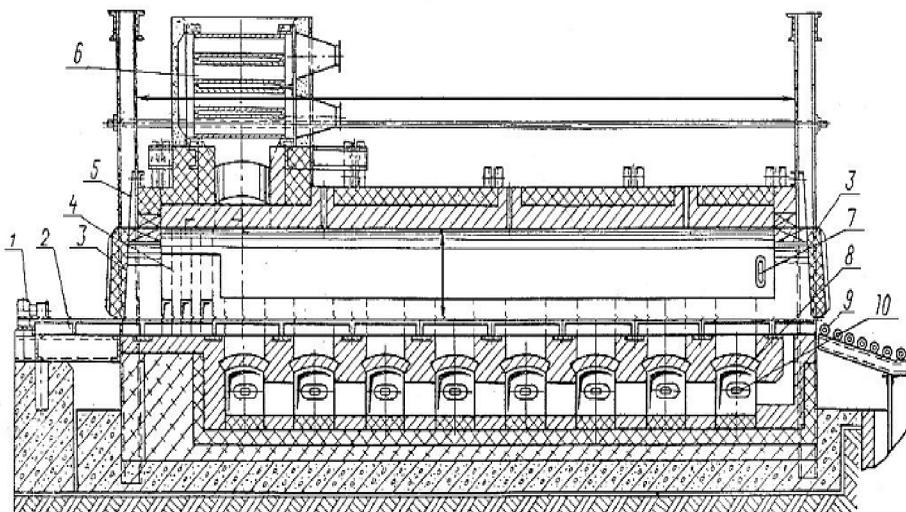


Рис. 4.15. Толкательная печь: 1 – толкатель; 2 – стол загрузки; 3 – заслонка; 4 – дымоход; 5 – чугунная рама; 6 – рекуператор; 7,10 – горелки; 8 – топочные каналы; 9 – наклонная плоскость

Современные нагревательные печи имеют механизмы загрузки и выгрузки изделий и продвижение их в печи.

Предусмотрено автоматическое регулирование теплового режима.

Для получения безокислительного нагрева металла применяют печи с защитной, контролируемой атмосферой.

Современные кузнечно-прессовые цеха оснащены быстроходными машинами для обработки металлов давлением. Для их бесперебойного обеспечения горячими заготовками требуются механизированные нагревательные печи. Нагрев изделий под термическую обработку осуществляется в проходных печах (массовое производство).

Печи нагревательные применяются для термической обработки однородных по форме и размерам изделий.

Конечная температура нагрева металла в этих печах до 1150°C .

Печи этого типа могут применяться как для работы с обычной печной атмосферой (индекс ТТО), так и с искусственной атмосферой (индекс ТТЗ). В последнем случае печи выполняются с муфельированием пламени (печи с рациональными трубами) или с муфельированием садки (печи муфельные).

Агрегаты толкательного типа применяются для комбинированной термической обработки, например закалка – отпуск – нормализация – цементация (или нитроцементация) и др.

В зависимости от установленного режима термической обработки конечная температура нагрева металла может быть ниже предельно допустимой для печей толкательных (1150°C). В этих случаях возможно включение в состав агрегатов печей в модификации с предельной температурой 650°C.

При низком отпуске (200°C) предусматриваются два типа размера толкательных печей в модификации до 200°C. Для остальных случаев низкого отпуска рекомендуется электронагрев.

В комплект установки печи входят собственно печь, толкатель для передвижения поддонов, выталкиватели, поддоны, средства возврата поддонов, приборы теплового контроля и автоматики, а также в случаях применения искусственной атмосферы – установка (или станция) приготовления соответствующей атмосферы.

В состав агрегатов в зависимости от их назначения помимо соответствующих печей могут входить баки закалочные и замоченные, камеры охлаждения, моечные машины и соответствующие обрабатываемой продукции средства внутриагрегатного транспорта (конвейеры, опрокидыватели и др.).

Глава 5

НЕПЕЧНЫЕ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА

5.1. ИНДУКЦИОННЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Мощность большинства индукционных установок для нагрева заготовок под ковку и штамповку находится в пределах 100— 500 кВт и выше, частота тока 2500 или 8000 Гц, реже 500 и 1000 Гц.

Теоретический расчет и опыт показывают, что максимальное значение электрического, а следовательно, и полного КПД индукционной установки для любого размера нагреваемых заготовок, достигается тогда, когда отношение диаметра заготовки d к глубине проникновения тока A составляет от 2,5 до 5. При $d/A > 2,5$ электрический КПД резко падает, ввиду чего применение установок индукционного нагрева токами промышленной частоты (50 Гц) ограничивается диаметром заготовок, превышающим глубину проникновения тока примерно в 3, 5 раза или более.

5.2. УСТАНОВКИ ПРЯМОГО (КОНТАКТНОГО) ЭЛЕКТРОНАГРЕВА

Прямой электронагрев создает наиболее благоприятные условия для получения равномерной мелкозернистой структуры металла

При скоростном прямом электронагреве обезуглероживание отсутствует полностью, окисление поверхности металла незначительно, технологические и санитарные условия обработки резко улучшаются.

Основной проблемой прямого электронагрева является передача тока нагреваемому изделию.

Прямой нагрев осуществляют в специально конструируемых для этой цели нагревательных установках сопротивления. Подвергаемую нагреву заготовку (деталь) зажимают между контактными зажимами, соединенными со вторичной ступенчатой обмоткой печного понизительного сухого трансформатора. В мощных установках во избежание оплавления при высокой температуре контактные зажимы охлаждают водой.

5.3. ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЛАМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Для сжигания природного газа при нагреве изделий открытым пламенем или при муфелировании садки используют нормализованные горелки.

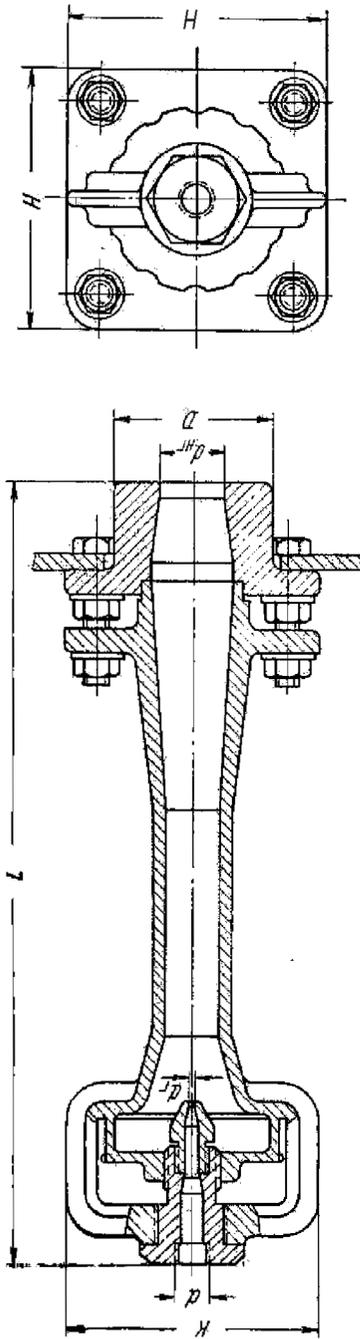


Рис. 5.1. Горелка инжекционная прямая конструкции Стальпроекта, тип В, $d_{нр}$ от 15 до 75 мм

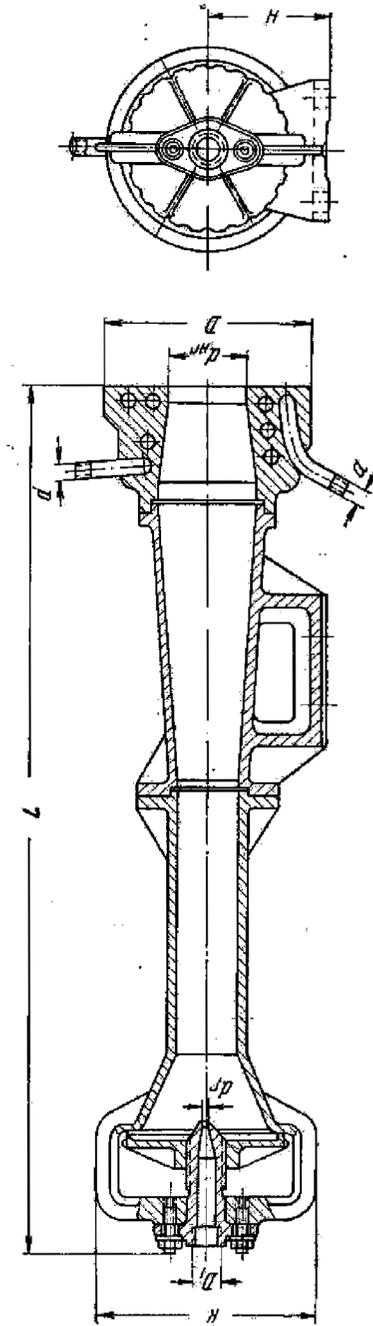


Рис. 5.2. Горелка инжекционная прямая конструкции Стальпроекта, тип В, $d_{нр}$ от 76 до 235 мм

Геометрические размеры горелки соответствуют ее производительности (мощности нагрева, температурному режиму) и необходимости ее охлаждения (рис. 5.1, 5.2).

Сжигание природного газа низкого давления предусматривается в двухпроводных горелках (рис. 5.1). Диапазон регулирования производительности горелок до 1:8. Расчетный коэффициент расхода воздуха $a = 1,05-1,15$. При применении в печах безокислительного нагрева в конструкцию горелок должно быть внесено изменение для создания условий лучшего перемешивания газа с воздухом в целях обеспечения бессажевого сжигания топлива. Предусмотрены две разновидности наконечника газового сопла: тип А для короткофакельного сжигания топлива и тип Б для образования удлиненного факела горения. При работе на подогретом воздухе производительность горелок снижается.

Помимо прямых горелок разработан (после издания альбома ГС-02-07) ряд горелок поворотных типа ВП, применение которых при незначительном снижении производительности обеспечивает уменьшение общих габаритных размеров печной установки.

В зависимости от масштаба производства оборудование для нагрева и термической обработки заготовок и готовых деталей может быть установлено в самостоятельных обособленных термических цехах, отделениях при прокатно-прессовых цехах.

5.4. УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЛАВКИ ВО ВЗВЕШЕННОМ СОСТОЯНИИ

5.4.1 Общая характеристика

Как уже отмечалось ранее, электромагнитные волны, создаваемые индуктором, помимо теплогенерации создают в проводящей среде электромагнитные силы, сжимающие и перемешивающие жидкий металл. При достаточной напряженности магнитного поля силы электродинамического давления могут уравновесить силу тяжести данного объема металла, что позволяет плавить и удерживать металл во взвешенном состоянии. Такой способ плавки позволяет исключить взаимодействие расплавленного металла с футеровкой, получать любую заданную температуру жидкого металла, перемешивать этот объем жидкого металла, плавно спускать его внутри индуктора и регулировать вы-

пуск металла в изложницу или кристаллизировать его во взвешенном состоянии.

В таком индукторе устойчивость взвешенного состояния жидкого металла обеспечивается в пределах объема 1,5—3,4 дм³.

5.4.2. Особенности тепловой работы

Технологическое применение установок для плавки во взвешенном состоянии при физико-химических исследованиях металлов часто связано с достижением заданной установившейся температуры $T_{уст}$: при расплавлении $T_{уст} > T_{пл}$, при кристаллизации металла во взвешенном состоянии $T_{уст} < T_{пл}$. Любое значение $T_{уст}$ соответствует тепловому равновесию металла, когда энергия теплогенерации в результате индукционного нагрева полностью расходуется на испарение металла и на тепловые потери излучением (в вакууме) или конвекцией (в инертных газах). Однако параметры электромагнитного поля, необходимые для удержания металла во взвешенном состоянии, могут создавать теплогенерацию, не соответствующую тепловому равновесию. В частности, в диапазоне частот 70—440 кГц электромагнитное поле, удерживающее каплю, создает теплогенерацию для металлов:

1) Al, Cu, Ni, Co, Fe излишнюю, т.е. $T_{уст} > T_{пл}$ и кристаллизацию невозможно осуществить без интенсификации теплоотвода. Металлы Fe, Ni, Co при удерживающей частоте 70 кГц кристаллизуют при обдувке капли гелием. В некоторых случаях теплогенерацию ослабляют уменьшением массы (объема) капли, если это не снижает стабильности взвешенного состояния;

2) Ti, Zr, Nb, Mo достаточную и ее можно регулировать изменением частоты поля. Металлы Ti и Zr плавят и кристаллизуют в вакууме при частоте 70 кГц, Nb и Mo — при частоте 440 кГц;

3) Ta и W недостаточную, т. е. $T_{уст} < T_{пл}$ и для плавления необходимы дополнительные источники теплогенерации (в вакууме электронный луч или световой луч оптического квантового генератора, в инертных газах — плазменная струя плазмотрона косвенного действия).

Общий КПД индукционных установок для плавки во взвешенном состоянии составляет 0,015—0,02.

Индукционные вакуумные печи по сравнению с открытыми тигельными печами имеют более низкие значения КПД η_3 и η_T . Общий КПД η_0 составляет 0,2—0,4, а в печах с «холодным» тиглем 0,05—0,15, что вызывает повышенный удельный расход электроэнергии. Например, при выплавке стали в печах типа ИСВ $W_y \approx 2 \div 3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг}$.

Строительство индукционных вакуумных печей связано с большими дополнительными капитальными затратами, что в сочетании с высокими расходами по переделу делает вакуумную индукционную плавку достаточно дорогостоящей, целесообразной только для получения металлов и сплавов особо высокого качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долотов, Г.П. Печи и сушила литейного производства [Текст] / Г.П. Долотов, Е.А. Кондаков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990.
2. Кривандин, В.А. Metallургическая теплотехника [Текст] / В.А. Кривандин. – М.: Metallургия, 1986. Т.2 – 590 с.
3. Кривандин, В.А. Теория, конструкции и расчеты metallургических печей [Текст] / В.А. Кривандин, Ю.П. Филимонов. – М.: Metallургия, 1986. – Т.1. – 477 с.
4. Мaстрюков, Б.С. Теория, конструкции и расчеты metallургических печей [Текст] / Б.С. Мaстрюков. – М.: Metallургия, 1986. – С. 271.
5. Metallургическая теплотехника [Текст]: в 2 т. Т. 1. Теоретические основы: учеб. для вузов / В.А. Кривандин, В.А. Арутюнов, Б.С. Мaстрюков [и др.]. – М.: Metallургия, 1986. – 424 с.
6. Metallургические печи: Атлас [Текст]: учеб. пособие / В.И. Миткалинский, В.А. Кривандин, В.А. Морозов [и др.]. – М.: Metallургия, 1987.
7. Телегин, А.С. Конструкции и расчет нагревательных печей [Текст] / А.С. Телегин, Н.С. Лебедев. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 280.
8. Фомин, Б.А. Metallургия вторичного алюминия [Текст]: учеб. пособие / Б.А. Фомин, В.И. Москвитин, С.В. Махов. – М.: Экономет, 2004. – 240 с.

Учебное издание

Глуштенко Станислав Федотович

**ВЫБОР И КОМПОНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕХАХ ОМД**

Учебное пособие

Редактор Т. К. К р е т и н и н а
Доверстка Т. Е. П о л о в н е в а

Подписано в печать 27.06.12. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 5,0. Тираж 100 экз. Заказ . Арт.С-13/2012.

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

