

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Санкт-Петербургский государственный политехнический  
университет**

В.В. Кисленков

## **Оборудование термических цехов**

Санкт-Петербург  
2011

*Кисленков В.В. Оборудование термических цехов : Учебное пособие/*  
В.В. Кисленков. СПб, СПбГПУ, 2011, 142 с

Учебное пособие соответствует вариативной дисциплине «Оборудование и проектирование термических цехов» по направлению подготовки 150400 «Металлургия» профиля «Металловедение и термическая обработка» ФГОС.

Освещены вопросы конструктивного исполнения, эксплуатации, электропечей периодического и непрерывного действия, соляных ванн, вакуумных электропечей, а также способы приготовления контролируемых атмосфер. Приведены сведения по устройству закалочных баков.

Предназначено для студентов, изучающих указанную дисциплину по ФГОС. Может быть использовано при изучении дисциплины «Проектирование термических печей» по магистерской программе 150400.68 «Разработка металлических материалов. Анализ структуры и свойств»

Табл. Илл.

# Содержание

1	КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	4
1.1	КЛАССИФИКАЦИЯ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	7
1.2	КЛАССИФИКАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	9
2	ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПЕЧЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ.....	9
3	КЛАССИФИКАЦИЯ ЭППД .....	14
4	ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОВРЕМЕННОМУ ПЕЧНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ.....	16
5	КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ СОВРЕМЕННЫХ ПЕЧЕЙ .....	17
6	ПРИМЕНЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПЕЧЕЙ.....	18
7	КАМЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ .....	26
7.1	ПРИМЕНЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ .....	26
7.2	НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ КАМЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ .....	28
7.3	СРЕДНЕТЕМПЕРАТУРНЫЕ КАМЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ .....	32
7.3.1	<b>НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ КАМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ.....</b>	<b>41</b>
8	ШАХТНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ.....	48
8.1	Низкотемпературные шахтные электропечи .....	50
8.2	Среднетемпературные шахтные электропечи.....	55
9	ЭЛЕКТРОПЕЧИ С ВЫДВИЖНЫМ ПОДОМ И КОЛПАКОВЫЕ .....	64
9.1	ЭЛЕКТРОПЕЧИ С ВЫДВИЖНЫМ ПОДОМ .....	65
9.2	КЛПАКОВЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ .....	71
10	ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ПЕЧЕЙ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ (ЭПНД).....	75
10.1	КОНВЕЙЕРНЫЕ ЭПНД.....	76
10.2	ТОЛКАТЕЛЬНЫЕ ЭПНД.....	81
10.3	РОЛЬГАНГОВЫЕ ЭПНД .....	83
10.4	КАРУСЕЛЬНЫЕ ЭПНД .....	85
10.5	ЭПНД С ПУЛЬСИРУЮЩИМ ПОДОМ.....	87
10.6	ЭПНД С ШАГАЮЩИМ ПОДОМ .....	88
10.7	БАРАБАННЫЕ ЭПНД .....	90
10.8	ПРОТЯЖНЫЕ ЭПНД .....	92
10.9	ЭПНД С РУЧЬЕВЫМ ПОДОМ .....	95
10.10	ТУННЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ .....	96
11	ЗАКАЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА .....	97
11.1	НЕМЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ЗАКАЛОЧНЫЕ БАКИ .....	99
11.2	МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ЗАКАЛОЧНЫЕ БАКИ.....	104
11.3	КОНВЕЙЕРНЫЕ ЗАКАЛОЧНЫЕ БАКИ .....	110
12	ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ В ВАКУУМЕ.....	114
12.1	НАГРЕВ В ВАКУУМЕ .....	114
12.2	ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА И ЕЁ ЭЛЕМЕНТЫ .....	117
12.3	ТРЕБОВАНИЯ К ВАКУУМНЫМ ЭЛЕКТРОПЕЧАМ .....	119
12.4	КЛАССИФИКАЦИЯ ВАКУУМНЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ. ....	122
12.5	КАМЕРНЫЕ ВАКУУМНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ.....	128

12.6	ЭЛЕВАТОРНЫЕ ПЕЧИ.....	129
13	ПЕЧИ-ВАННЫ .....	130
13.1	ОСОБЕННОСТИ НАГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ В ЖИДКИХ СРЕДАХ .....	130
13.2	КЛАССИФИКАЦИЯ СОЛЯНЫХ ВАНН .....	131
13.3	ЭЛЕКТРОДНЫЕ СОЛЯНЫЕ ВАННЫ .....	132
13.4	ВАННЫ С КАМЕРОЙ ИЗ ОГНЕУПОРНОГО КИРПИЧА.....	133
13.5	ВАННЫ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТИГЛЕМ .....	136
13.6	ПРАВИЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОДНЫХ СОЛЯНЫХ ВАНН .....	138
13.7	СОЛЯНЫЕ ВАННЫ С ВНЕШНИМ ОБОГРЕВОМ .....	139
13.8	СОЛЯНЫЕ ВАННЫ С ВНУТРЕННИМ ОБОГРЕВОМ.....	140
13.9	ИНДУКЦИОННЫЕ ПЕЧИ-ВАННЫ С ГРАФИТОВЫМ ТИГЛЕМ .....	142
13.10	СОЛИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СОЛЯНЫХ ВАННАХ .....	143
13.11	ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ СТАЛИ ПРИ НАГРЕВЕ В СОЛЯНЫХ ВАННАХ.....	146
13.12	МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ РАСПЛАВЛЕННЫХ СОЛЕЙ 147	
13.12.1	<i>Метод остроугольных образцов.....</i>	<i>147</i>
13.12.2	<i>Метод фольги.....</i>	<i>148</i>
13.12.3	<i>Метод послойного химического анализа .....</i>	<i>148</i>
13.12.4	<i>Метод измерения твердости.....</i>	<i>148</i>
13.13	РЕКТИФИАТОРЫ .....	150
14	НАГРЕВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В КОНТРОЛИРУЕМЫХ АТМОСФЕРАХ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ .....	150
14.1	ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГАЗОВ С МЕТАЛЛАМИ И СПЛАВАМИ.....	151

## 1 КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

В составе термического цеха, участка имеется:

**ОСНОВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ** (выполняет все операции технологического цикла) – нагревательное, охладительное, промывочное, очистное, правильное.

**ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ** (обеспечивает нормальную работу технологического и обслуживающего оборудования) - газогенераторы, маслоохладители, воздуходувки, санитарно-техническое, подъемно-транспортное, контрольное (контролирующее и регулирующее работу технологического оборудования) и др.

Электротермическим оборудованием (ЭТО) называется оборудование, предназначенное для технологических процессов тепловой обработки с использованием электроэнергии в качестве основного энергоносителя.

Электроды оборудование, предназначенное для преобразования электрической энергии в тепловую, имеющее нагревательную камеру, в которую помещается нагреваемое тело.

Электротермические устройства – оборудование без нагревательной камеры, предназначенное для преобразования электрической энергии в тепловую.

Электротермические агрегаты – совокупность конструктивно связанных электродов, устройств и другого технологического оборудования (транспортирующего, охлаждающего, моечного и др.), обеспечивающих проведение комплексного технологического проекта.

Наиболее существенные особенности ЭТО выявляются при классификации по МЕТОДУ НАГРЕВА, т.е. по способу преобразования электрической энергии в тепловую и подвода её к нагреваемому телу.

По этому признаку ЭТО можно подразделить следующим образом:  
СОПРОТИВЛЕНИЯ – в выделении теплоты в твёрдых или жидких телах, включённых непосредственно в электрическую цепь, при протекании по ним электрического тока.

ДУГОВОЕ – с выделением теплоты в электрической дуге.

– с передачей электроэнергии нагреваемому телу, помещенному в переменное ИНДУКЦИОННОЕ электромагнитное поле, или превращением её в тепловую при протекании индуцируемых токов.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЕ

ЛАЗЕРНОЕ

При нагреве методом сопротивления различают ЭТО:

Косвенного нагрева – тепло выделяется в специальных нагревателях, включенных в электрическую цепь, и передается от них нагреваемому телу по законам теплопередачи.

Прямого нагрева – тепло выделяется в самом нагреваемом тел, непосредственно включенном в электрическую цепь.

Оборудование косвенного нагрева подразделяют по способу теплопередачи (излучением, конвекцией, теплопроводностью).

В нагреве излучением выделен ИНФРАКРАСНЫЙ нагрев, основанный на подборе спектрального состава излучения с целью

использования свойств материалов избирательно поглощать его или пропускать.

При нагреве конвекцией теплопередача может осуществляться газом (воздух, защитный газ и т.п.) и псевдокипящим слоем (тепло от нагревателей к изделиям переносится множеством мелких твердых тел, непрерывно движущихся и контактирующих с нагревателями и нагреваемым телом).

Оборудованием для работы с жидкой средой в свою очередь подразделяют на электродное – тепло выделяется в жидкой ванне при прохождении тока подводимого электродами; с обогревом среды – тепло выделяется в специальных нагревателях, расположенных вне или внутри ванны.



**РИС. 1 КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

В отечественной промышленности действует единая классификация основного и вспомогательного оборудования. Условное обозначение – индекс из трех или четырех основных букв, нескольких цифр и вспомогательных букв и цифр.

### 1.1 КЛАССИФИКАЦИЯ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Первая цифра означает вид нагрева, вторая буква означает основной конструктивный признак; третья – означает среду в печном пространстве, а четвертая – означает отдельные особенности. После букв через тире следуют размеры рабочего пространства печей (дм):

прямоугольных – ширина, длина, высота; цилиндрических – диаметр, высота рабочей камеры; протяжных – максимальный диаметр обрабатываемой проволоки, число нитей, число ходов или толщина, ширина, число ходов ленты; барабанных – диаметр внутренней и активная длина барабана; карусельных – внешний и внутренний диаметр, высота рабочей камеры. В конце индекса указывается порядковый номер исполнения (И1, И2, И3 и т.д.). Исполнения отличаются между собой конструкцией или параметрами, не учитываемыми индексом.

**ТАБЛИЦА 1 СХЕМА ОБОЗНАЧЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КАМЕРНЫХ ПЕЧЕЙ**

Первая буква		Вторая буква		Третья буква		Четвертая буква	
обозначение	Вид нагрева	обозначение	Основной конструктивный признак	обозначение	Характер среды	обозначение	Отдельные особенности
Г	газовая	А	карусельная	А	азот	А	агрегат
С	сопротивления	Б	барабанная	В	вакуум	Л	лабораторная
И	индукционный	В	ванна	Г	металлы	В	вертикальная
Т	пламенная	Г	колпаковая	З	защитная атмосфера	М	муфельная
К	сопротивления прямой	Д	выдвижной под	М	масло	Н	непрерывного действия
Э	электронный	Е	подвесной конвейер	О	окислительная атмосфера	П	периодического действия
Н	ионный	И	пульсирующий под	П	пар водяной	Х	с камерой охлаждения
П	плазменный	К	конвейерная	С	соль (селитра)	Г	графитовая изоляция
		Н	камерная	Ц	цементационный газ	Ф	керамическая
		П	протяжная	Щ	щелочи	Э	экранная
		Р	рольганговая				
		Т	толкательная				
		Ш	шахтная				
		Э	элеваторная				
		Ю	с шагающим подом				
		Я	ручьевая				

Примеры обозначений

СГО – 20.15.-2/3 – И1 – электропечь сопротивления, колпаковая с воздушной атмосферой, диаметр рабочего пространства 2,0 м., высота 1,5 м., 2-х стендовая, температура 300оС, исполнение И1.

СВС – 3.5.8.4./6 – И2 – электрованна соляная, ширина рабочего пространства 0,35 м., длина 0,8 м., температура 600оС, исполнение И2.

СРЗА – 6.30.2./3,5 – И3 – агрегат сопротивления с закалочной рольганговой печью с защитной средой и рабочим пространством шириной 0,6 м., длиной 3 м., высотой 0,2 м., максимальная температура отпусковой печи 350оС, исполнение И3.

## 1.2 КЛАССИФИКАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

Вспомогательное оборудование: моечное, закалочное и охлаждающее:

первая буква показывает назначение: Б – бак, М – моечная машина, Х – холодильная камера, вторая буква характеризует конструкционный признак: К – конвейерная, П – протяжная, Р – рольганговая, Б – барабанная, С – с опускающимся столом.

Цифры через тире обозначают размеры (дм): ширина и длину.

Первые две буквы обозначают назначение (получаемую защитную атмосферу): ДА – диссоциированный аммиак; ЭН – эндогаз; ЭК – экзогаз; ЭНК – эндо-экзогаз; ВО – очистка водорода от кислорода; ИО – очистка инертных газов.

Следующая буква обозначает конструкцию (наличие блоков): С – сероочистка; Ж – осушка; О – очистка; К – конверсия; Д – дожигание; Х – охлаждение.

Последняя буква обозначает особенности: П – давление; В – вакуумная регенерация; Ц – циркуляция; Г – газовый обогрев.

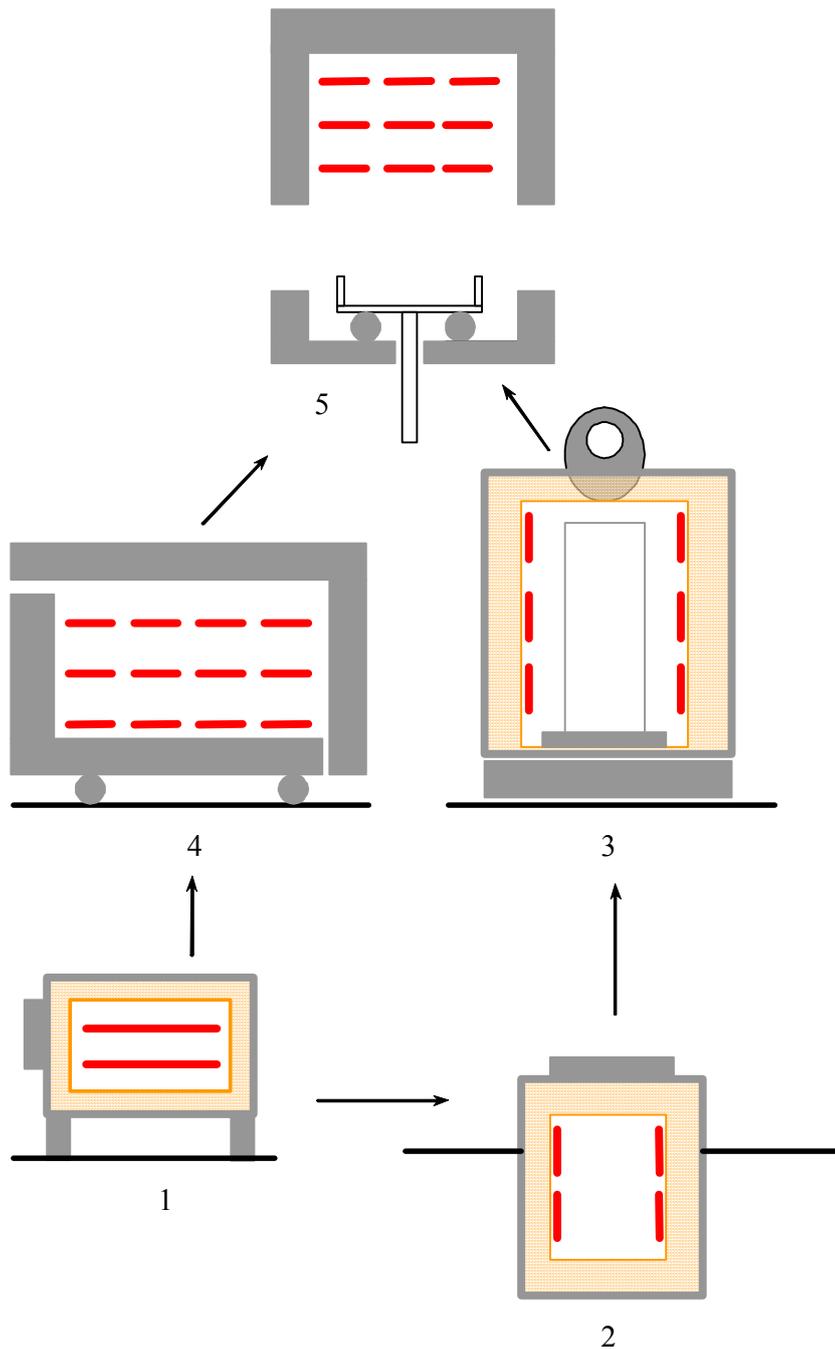
После букв через тире даются цифры, показывающие производительность (м<sup>3</sup>/час)

## 2 ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПЕЧЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

---

Печи периодического действия – изделия через загрузочные отверстия загружаются в рабочее пространство печи, находятся в нём,

как правило , без движения в течение всего технологического процесса и выгружаются из печи через то же отверстие.



**РИС. 2      ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПЕЧЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ (ЭППД): 1. – КАМЕРНАЯ ПЕЧЬ; 2. – ШАХТНАЯ ПЕЧЬ; 3 – КОЛПАКОВАЯ ПЕЧЬ; 4 – КАМЕРНАЯ С ВЫДВИЖНЫМ ПОДОМ; 5. – ЭЛЕВАТОРНАЯ ПЕЧЬ.**

Камерная ЭППД - боковая дверца, через которую в камеру вручную загружаются небольшие изделия. Технологические процессы: отжиг, отпуск, сушка, старение, цементация, нитроцементация, азотирование,

спекание, нагрев под пластическую деформацию, спекание, обжиг керамики.

Шахтная ЭППД - загрузка и выгрузка осуществляется через верх, поэтому они могут быть механизированы с помощью цехового крана или тельфера. Технологические процессы: отпуск, старение, закалка, обжиг, цементация, нитроцементация, азотирование.

Колпаковая ЭППД - в комплект входят несколько футерованных стенов, на которые может устанавливаться колпак с нагревателями. Загрузка и выгрузка осуществляется с помощью мостового крана при установленном на другой стенд колпаке. Технологические процессы: отпуск, отжиг, спекание, обжиг.

Камерная печь с выдвижным подом - для нагрева крупных изделий, которые невозможно загружать вручную. камера печи стоит на колесах, а днище представляет собой футерованную тележку, которая с помощью лебедки может выезжать по рельсам из под печи. Технологические процессы: отпуск, отжиг, старение, спекание, обжиг.

Элеваторная печь - камера печи стоит на высоких колоннах, днище её с загрузкой может подниматься в печь или опускаться вниз с помощью гидравлического подъёмника. в нижнем положении днище печи становится своими катками на рельсы и может для загрузки и выгрузки выезжать из-под печи в цех. Технологические процессы: отпуск, отжиг, спекание, обжиг, закалка и старение алюминиевых сплавов.

Общепромышленные ЭППД включают ряд традиционных видов печей, которые, как отмечено, объединяются характером использования и технологическим назначением, но которые имеют существенные конструктивные различия, большей частью связанные с разными видами обрабатываемых изделий. В табл. 2 -5 приведены данные некоторых выпускаемых в нашей стране общепромышленных ЭППД.

**ТАБЛИЦА 2      ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КАМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**

Условное обозначение	Размеры рабочего пространства,			Среда в рабочем пространстве
----------------------	--------------------------------	--	--	------------------------------

	ширина	длина	высота	Температура печи, оС	Установленная мощность, кВт	
СНОС-6.7.12/3	600	700	1200	300	12	Воздух
СНОС-10.13.10/3	1000	1300	1000	300	32	"
СНО-5.5.5/5	500	500	500	500	15	"
СНО- 7.6.3.10/6	700	630	1000	600	26	»,
СНО-3.6.2/10	300	600	200	1000	14	»
СНЗ-3.6.2/10	300	600	200	1000	14	Защитная
СНО-4.8.2,5/10	400	800	250	1000	25	Воздух
СНЗ -4.8.2,5/10	400	800	250	1000	25	Защитная
СНО-6.12.4/10	600	1200	400	1000	71	Воздух
СНЗ -6. 12. 4/10	600	1200	400	1000	58	Защитная
СНЗ -6.12.4/12	600	1200	400	1200	52	«
СНО-8.16.5/10	800	1600	500	1000	86	Воздух
СНЗ-8.16.5/10	800	1600	500	1000	86	Защитная
СНЦ-5.10.5/9,5	500	1000	500	950	140	Цементационная защитная
СНЦ-8.12,5.6/9,5	800	1250	600	950	220	То же
СНЗ-8.16.5/12	800	1600	500	1200	71	Защитная
СНО-9.14.7/10	900	1400	700	1000	123	Воздух
СНЗ-1 1.22.7/12	1100	2200	700	1200	135	Защитная
СНО-3.4.2,5/13	300	400	250	1300	30	Воздух
СНО-4.8.2,5/13	400	800	250	1300	50	То же

**ТАБЛИЦА 3 ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ШАХТНЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**

Условное обозначение	Размеры рабочего пространства, мм		Температура печи, оС	Установленная мощность, кВт	Среда в рабочем пространстве
	диаметр	высота			
СШЗ-6.6/7	60	600	700	37	Защитная
СШЗ-6.12/7	60	1200	700	52	То же
СШЗ-6.20/7	60	2000	700	72	То же
СШЗ-6.30/7	60	3000	700	107	То же
США-5.7,5/7	50	750	700	42	Азотирующая
США-8.12/7	80	1200	700	95	То же
США-8.24/7	80	2400	700	120	То же

СПЗ-10.10/7	10	1000	700	85	Защитная
СПО-15,30/7	15	3000	700	202	Воздух
СПЗ-25.20/7	25	2000	900	295	Защитная
СПЗ-1 2.60/9	12	6000	900	350	То же
СПЦМ-6.6/9	60	600	900	63	Цементационная
СПЦМ-6.12/9	60	1200	900	93	То же
СПЦМ-6.20/9	60	2000	900	108	То же
СПЦМ-6.30/9	60	3000	900	153	То же
СЦМ -25 .20/9,5	25	2000	950	380	То же
СПО-6.6/10	60	600	1000	70	Воздух
СПО-6.12/10	60	1200	1000	85	То же
СПО-6.20/10	60	2000	1000	100	То же
СПО-6.30/10	60	3000	1000	130	То же
СПО-10.10/10	10	1000	1000	111	То же
СПЗ-10.20/10	10	2000	1000	211	То же
СПЗ-15.30/10	15	3000	1000	301	Защитная
СПЗ-6.12/12	60	1200	1200	121	То же
СПЗ-10.20/12	10	2000	1200	211	То же

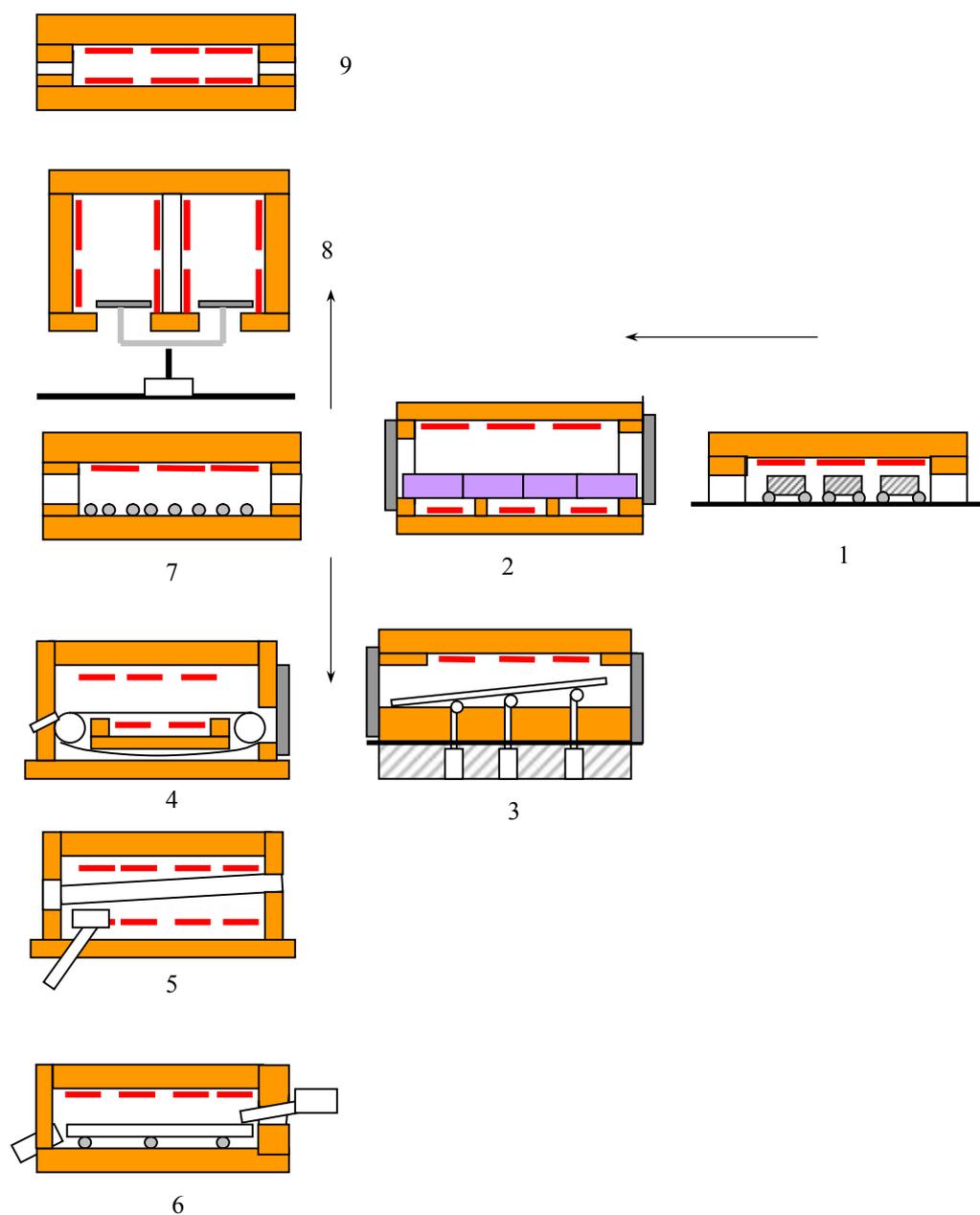
**ТАБЛИЦА 4 ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПЕЧЕЙ С ВЫДВИЖНЫМ ПОЛОМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**

Условное обозначение	Размеры рабочего пространства, мм			Температура печи, °С	Установленная мощность, кВт	Среда в рабочем пространстве
	ширина	длина	высота			
СДО-10.12,5.125/3,5	1000	1250	12500	350	82	Воздух
СДО- 16.25.16/3,5	1600	2500	1600	350	312	То же
СДО-10.12,5.10/5	1000	1250	1000	500	80	То же
СДО-25,90.18/7	2500	9000	1800	700	1510	То же
СДО-30.60.20/7	3000	6000	2000	700	875	То же
СДО- 35.100.20/7	3500	10000	2000	700	1840	То же
СДО-20.40.15/10	2000	4000	1500	1000	396	То же
СДО-25. 50.20/10	2500	5000	2000	20000	1450	То же
СДО- 35.70.25/10	3500	7000	2500	1000	1657	То же
СДО-8.15.8/12	800	1500	800	1200	800	То же
СДО-14.20.10/12	1400	2000	1000	1200	210	То же
СДО-14.28.10/10	1400	2880	1000	1000	580	То же
СДО-14.36.10/12,5	1400	3600	1000	1250	300	То же

**ТАБЛИЦА 5                      ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КОЛПАКОВЫХ                      ПЕЧЕЙ  
 ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**

Условное обозначение	Размеры рабочего пространства, мм		Температура печи, оС	Установленная мощность, кВт	Среда в рабочем пространстве
	диаметр	высота			
СГЗ-16.16/7	1600	1600	700	252	Защитная
СГЗ-10.16/10	1000	1600	1000	189	То же

**3    КЛАССИФИКАЦИЯ ЭППД**



**РИС. 3    ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПЕЧЕЙ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ**

*1 – ТУННЕЛЬНАЯ ПЕЧЬ; 2 – ТОЛКАТЕЛЬНАЯ ПЕЧЬ; 3 – ПЕЧЬ С ШАГАЮЩИМ ПОДОМ; 4 – КОНВЕЙЕРНАЯ ПЕЧЬ; 5 – БАРАБАННАЯ ПЕЧЬ; 6 – ПЕЧЬ С ПУЛЬСИРУЮЩИМ ПОДОМ; 7 – РОЛЬГАНГОВАЯ ПЕЧЬ; 8 – КАРУСЕЛЬНАЯ ПЕЧЬ; 9 – ПРОТЯЖНАЯ ПЕЧЬ*

Туннельная печь - изделия помещаются на футерованных тележках, пропускаемых через камеру печи, имеющую форму туннеля. Через определённый промежуток времени все тележки передвигаются на длину, равную длине одной тележки, при этом одна из них выходит из печи для выгрузки, в то время с противоположного конца печи входит очередная загруженная тележка.

Толкательная печь - на загрузочный стол устанавливается жаропрочный поддон с изделиями. Периодически открывается у торца печи и толкатель вдвигает поддон в печь, заставляя передвигаться весь ряд поддонов. при этом крайний левый поддон выходит из печи, после чего дверцы закрываются.

Печь с шагающим подом - в днище печи вмонтированы жаропрочные балки, которые с помощью привода получают возвратно-поступательное движение. При этом балка перед движением от загрузочного конца печи приподнимает лежащие на подине печи изделия и перемещает их по длине печи. При обратном движении балка опускается в пазы днища, изделия садятся на подину и не участвуют в движении.

Конвейерная печь - в камере печи на двух валах натянут цепной конвейер, полотно которого состоит из плетёной сетки или штампованных или литых цепных звеньев. При вращении ведущего вала конвейер плавно перемещается, увлекая с собой загружаемые на него детали.

Барабанная печь - в камере расположен шнек – жаропрочный барабан с архимедовой спиралью. При вращении барабана изделия перекачиваются в барабане, перемещаясь постепенно от загрузочного к разгрузочному.

Печь с пульсирующим подом - на дне камеры печи на роликах находится жаропрочный под в виде желоба, на который у загрузочного окна печи укладывают детали. Под с помощью привода с эксцентриком

получает импульсное возвратно-поступательное движение. При этом детали перемещаются от загрузочного конца печи к выгрузке.

Рольганговая печь - на поду камеры расположены ролики медленно вращающиеся против часовой стрелки. Благодаря этому уложенное на ролики изделие постепенно транспортируется вдоль печи к её разгрузочному окну.

Карусельная печь - это по существу конвейерная печь, свёрнутая в кольцо. Кольцеобразный вращающийся под заставляет уложенное на него изделие совершать полный круг в печи к разгрузочному окну, расположенному рядом с загрузочным.

Протяжная печь - используется для нагрева ленты или проволоки. У торцов печи имеются барабаны, между которыми натянута проволока или лента. При вращении барабанов с одного из них лента сматывается, а на другой наматывается.

Основные технологические требования к термическому оборудованию

Технологический процесс термической обработки должен быть детально разработан. Он содержит комплекс операций, различных по своим характеристикам. Это укладка деталей на поддон или конвейер, загрузка деталей в печь и нагрев до заданной температуры с регламентированной скоростью нагрева и выдержки, передача деталей или садки на охлаждение, собственно процесс охлаждения, передача на последующие операции мойки, отпуска и др. Следовательно, технологические требования определяют метод и объем загрузки деталей в печь, температурный режим, состав газовой атмосферы и её углеродный потенциал, давление газа в печном пространстве, расход отдельных газов и порядок обмена атмосферы в печи, среду и метод охлаждения, промывка деталей общее время процесса.

#### 4 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОВРЕМЕННОМУ ПЕЧНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ

---

- ✓ Интенсивное нагревание металла с минимальным временем для вывода на рабочую температуру;

- ✓обеспечение постоянства температуры с минимальным колебанием в рабочей зоне (необходимо точное регулирование температуры в пределах  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ;
- ✓ремонтпригодность. Под ремонтпригодностью понимают возможность быстрого и надежного способа обнаружения и устранения отказов и неисправностей путём проведения технического обслуживания и ремонта. Качественно ремонтпригодность печи, агрегата можно оценить учитывая их особенности: конструктивную законченность и достаточно легкую отделимость агрегатов, позволяющую организовать узловой метод ремонта оборудования; унификацию, типизацию нормализацию узлов, подузлов, крупных деталей различных моделей однотипных установок; равностойкость деталей в пределах одного узла; достаточную прочность и износостойкость деталей, обеспечивающих весь рабочий срок работы; несложность ведения разборочно-сборочных и регулировочных работ;
- ✓герметизация рабочего пространства с целью применения контролируемых атмосфер;
- ✓возможность непосредственной закалки деталей в закалочной среде с регулируемой температурой или охлаждение в защитном газе;
- ✓максимальная автоматизация управления всеми элементами технологического процесса и механизация оборудования.

## 5 КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ СОВРЕМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

*Газовые и электропечи для термической обработки.* Повышенные требования к режимам нагрева способствовали тому, что на современных термических печах основным источником теплоты стали газ и электричество. Габаритные размеры электрических и газовых печей меньше мазутных, т.к. в них отсутствует топочное пространство или камера сжигания. В газовых печах наиболее полное смешение газа с воздухом, благодаря чему нет необходимости в создании специальной камеры сгорания.

Электрические печи сопротивления имеют ряд преимуществ:

- ✓ наиболее простая схема автоматизации заданной температуры в пределах  $\pm 3...50^{\circ}\text{C}$ ;
- ✓ отсутствие дымососных систем;
- ✓ простота включения и останова;
- ✓ меньшая инерционность приборов, регулирующих нагрев.
- ✓ Преимущества газового нагрева:
  - ✓ капитальные затраты на ремонт примерно в 2 раза меньше;
  - ✓ нагрев более эффективен особенно в период разогрева садки;
  - ✓ иностранные фирмы на печах с газовым обогревом устанавливают примерно вдвое меньше радиационных труб, чем на таких же по размерам электрических.

№ п.п.	Типоразмер печи	Масса загрузки	Число труб	
			электрических	газовых
1.	40/40/60	150	13	4
2.	50/45/80	250	16	6
3.	60/50/400	400	19	8
4.	70/55/120	550	22	10

- ✓ Эффект использования топлива повышается на 30%;
- ✓ КПД составляет 70...75%.

## 6 ПРИМЕНЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПЕЧЕЙ

Конструкция камерной печи принципиально проста - это теплоизолированный кожух с нагревателями и дверцей, закрывающей загрузочный проем. В связи с применением этого вида ЭППД для самых различных процессов нагрева и изделий имеется несколько типов камерных электропечей, конструктивные различия которых между собой определяются назначением и характером использования печей. Рациональным соотношением размеров рабочего пространства является такое, при котором высота его примерно в 1,5 – 2 раза меньше, а длина в среднем во столько же больше ширины. Дверца в печах обычно перемещается вверх-вниз, позволяя открывать загрузочный проем на любую высоту.

В печах, рассчитанных на широкого потребителя, предусматривается, как правило, воздушная атмосфера в рабочем

пространстве; защитная среда часто создается в помещаемых в печь герметичных емкостях контейнерах. В то же время все больше выпускаемых конструкций рассчитывается на применение подаваемых извне защитных атмосфер, в частности углеродосодержащих, из которых наиболее распространен эндогаз, имеющийся на предприятиях с большим парком печей для термообработки.

Для загрузки и выгрузки камерных печей потребитель, как правило, использует универсальные типовые погрузочные средства типа тележек с подъемниками и т.п.; небольшие печи загружаются вручную.

Нашей промышленностью выпускаются электропечи широкого назначения типов СНО и СНЗ. В связи с применением камерных электропечей в основном производстве предприятий машиностроения к ним предъявляется целый ряд других требований, соответствующих предусматриваемому в этом случае их специальному назначению. Так, комплекс современных технологических процессов обработки стальных деталей включает химико-термическую обработку — цементацию, нитроцементацию, азотирование и другие процессы и термическую обработку с повышенным качеством поверхности — светлую закалку, нормализацию, улучшение, светлый отжиг и т.д. Наряду с комплексностью обработки (осуществлением всех следующих один за другим этапов технологического процесса) требуется достаточно высокая производительность установок. Характерное использование этих печей — это выпуск деталей ограниченных серий, например обработка инструмента, опытных партий деталей основного производства, например подшипников и т.п.

При большом числе технологических процессов многие из них должны происходить в одной печи, оснащенной необходимыми устройствами - закалочным баком, системой охлаждения загрузки циркулирующим газом и другими устройствами, которые обычно выделяются в отдельную камеру. Такая комбинированная высокотемпературная электропечь как отдельная установка или в комплексе с печами на другие температуры и дополнительными устройствами (моечными машинами, сушильными установками)

представляет собой современный камерный агрегат, который находит применение во многих отраслях машиностроения.

Камерные печи, агрегаты и комплексы - применяются в мелко- и среднесерийном производстве, обычно имеющем широкую номенклатуру деталей, обрабатываемых сравнительно небольшими партиями, что требует более или менее частого изменения температурного и газового режимов,

К деталям, обрабатываемым в условиях данных производств, предъявляются высокие требования по качеству термообработки и воспроизводимости свойств, для чего в печах необходимы высокие стабильность и точность режимов, равномерность распределения их параметров в печном пространстве.

Межоперационное транспортирование загрузки внутри печи из камеры в камеру и между печами в комплексе, как правило, полностью механизировано. В результате данный тип камерных печей отличается высокой степенью автоматизации и сложностью конструкции, удовлетворяющих предъявляемые к нему требования.

Основные конструктивные решения общих для всех камерных электропечей узлов - теплоизоляции (футеровки), нагревателей, дверцы, системы регулирования температуры и атмосферы — определяются главным образом уровнем номинальной температуры печи, а также спецификой, связанной с назначением печи.

КАРКАС - несущий элемент конструкции – металлический кожух без принудительного внешнего охлаждения, который является опорой для устанавливаемой в печном пространстве загрузки, монтируемых в нем футеровки и механизмов (например, закрывающих загрузочные проёмы устройства); изготавливается из профильной и листовой стали; для печей с защитной атмосферой сварка каркаса производится герметичным швом.

ФУТЕРОВКА печей должна обеспечивать минимальный уровень потерь, длительную работоспособность, иметь стенки минимальной толщины, достаточную механическую прочность, в частности, для крепления на них нагревателей. Она выполняется большей частью из

нескольких материалов, образующих огнеупорный слой, обращенный к горячей зоне, и теплоизоляционный внешний слой.

Для огнеупорного слоя применяются огнеупорные изделия и материалы: шамотные, муллитокремнеземистые, корундовые, волокнистые (волокнистые материалы – материалы с наименьшей объёмной массой и высокой механической прочностью и стойкостью в условиях переменных температур (плиты ШВП); для теплоизоляционного слоя – пористозернистые формованные (табл. 6).

**ТАБЛИЦА 6**

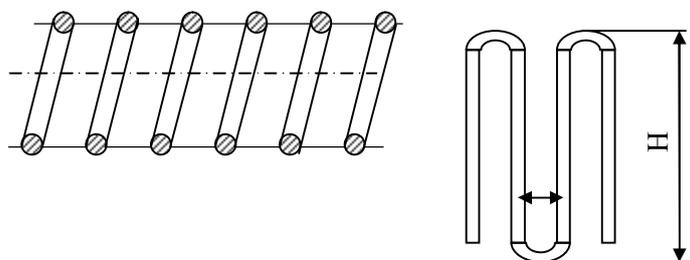
*Теплотехнические свойства огнеупорных и теплоизоляционных материалов*

Материал	Предельная температура использования, °С	а, (Вт/(м.К)	в, Вт/(м.К <sup>2</sup> )	Плотность ρ, кг/м <sup>3</sup>
Огнеупорные материалы				
Графит	2500	3,14	2,1.10 <sup>-3</sup>	1500
Карборунд-рефракс	2500	37,1	-3,44.10 <sup>-3</sup>	2100
Карборунд-карбофракс	2000	2,62	1,1.10 <sup>-3</sup>	2100
Корунд литой	1850	58	2,9.10 <sup>-2</sup>	1850
Динас высокоплотный	1700	1,58	3,8.10 <sup>-4</sup>	1660
Муллит литой	1650	0,28	-1,69.10 <sup>-4</sup>	1700
Димас	1600	0,815	6,7.10 <sup>-4</sup>	1620
Магнезит	1600	6,28	-2,7.10 <sup>-3</sup>	1580
Динас-легковес	1450	0,29	3,7.10 <sup>-4</sup>	1200
Каолин плотный	1400	1,75	8,6.10 <sup>-4</sup>	2500
Шамот класса А	1350	0,88	2,3.10 <sup>-4</sup>	2500
Шамот класса В	1350	0,465	3,8.10 <sup>-4</sup>	2500
Шамот	1300	0,7	6,4.10 <sup>-4</sup>	2500
Шамот легковес Б	1250	0,225	2,2.10 <sup>-4</sup>	2500
Шамот -ультралегковес	1100	0,116	1,6.10 <sup>-4</sup>	2500
Теплоизоляционные материалы				
Асбовермикулит				
Каолиновая вата				
Диатомит-обожженный порошок				
Диатомит-кирпич				
Диатомит-необожженный порошок				
Вермикулит				
Пеношамот				
Пенодинас				
Пенодиатомит				
Асбест				

Примечание: а и в – составляющие коэффициента теплопроводности  $\lambda = a + vt$  Вт/(м.К)

Волокнистые материалы позволяют создание модульных единиц, которые при монтаже печи позволяют использовать методы машиностроительной сборки.

НАГРЕВАТЕЛИ – в общепромышленных печах применяются наиболее распространенные и простые по конструкции металлические из сплавов высокого электрического сопротивления. Традиционной конструкцией для данной группы печей являются проволочные нагреватели – спиральные из проволоки диаметром 4 – 5 мм и зигзагообразные из проволоки диаметром 6 – 9 мм.



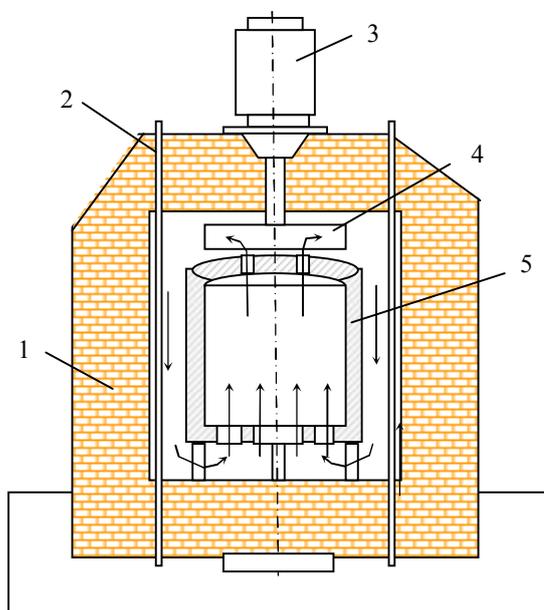
В печах с углеродосодержащей атмосферой применяются зигзагообразные нагреватели из толстой проволоки указанных размеров с питанием через понижающие трансформаторы. Низкое напряжение предохраняет от возникновения больших токов утечки – от нагревателя к науглероженной кладке. Однако, в процессе работы нагреватели науглероживаются и с течением времени становятся более хрупкими и тонкими, их электрическое сопротивление увеличивается. Эти факторы приводят к значительным местным перегревам и преждевременному выходу нагревателей. В камерных печах на 1300оС используются карбидкремниевые нагреватели и на 1500оС – нагреватели на основе дисилицида молибдена, хромита лантана. В вакуумных печах с температурой нагрева до 3000оС применяются нагреватели зигзагообразные из вольфрама или молибдена.

ОБРАБОТКА В КОНТРОЛИРУЕМЫХ АТМОСФЕРАХ требует применения в печах приспособлений и устройств, к числу которых

относятся газоводы, перемешивающие вентиляторы, экраны, пламенные завесы и др.

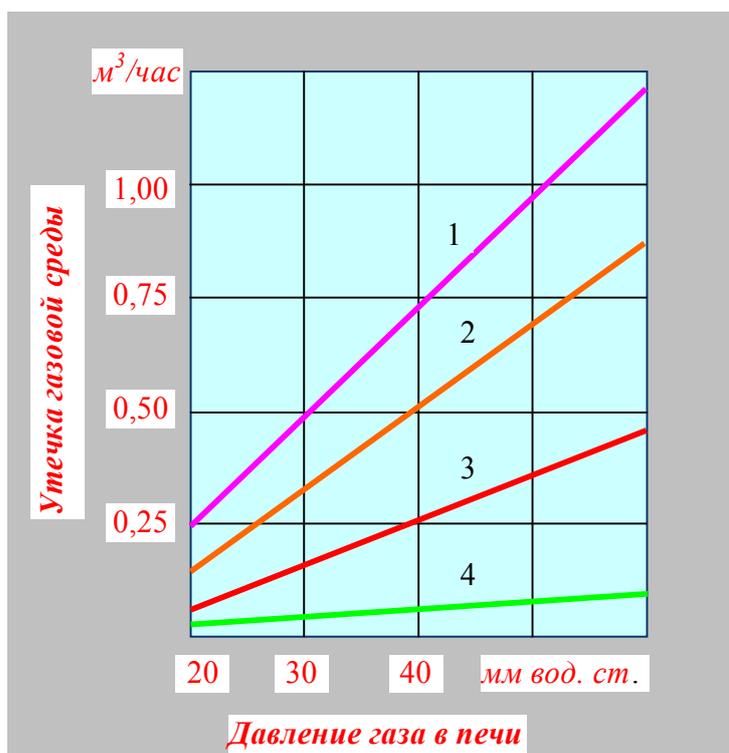
Установка газоводов производится как на боковых стенках печи, так и на своде – поток газа не должен влиять на показания термопар и температуру обрабатываемых изделий. К газоводу подводят эндогаз, природный газ и аммиак, которые подают одновременно или раздельно. Сброс газа осуществляется через гидрозатвор.

Вентиляторы: применяются для перемешивания атмосферы в печи, скорость циркуляции газа 10 – 15 м/с. В целях создания направленных газовых потоков применяются экранирующие устройства – полумуфель.



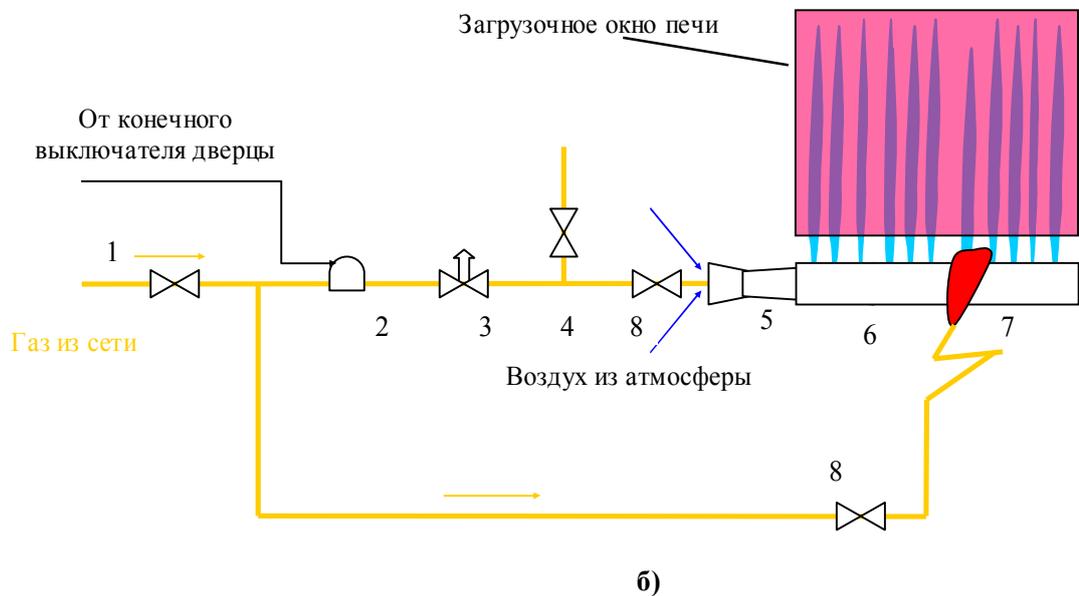
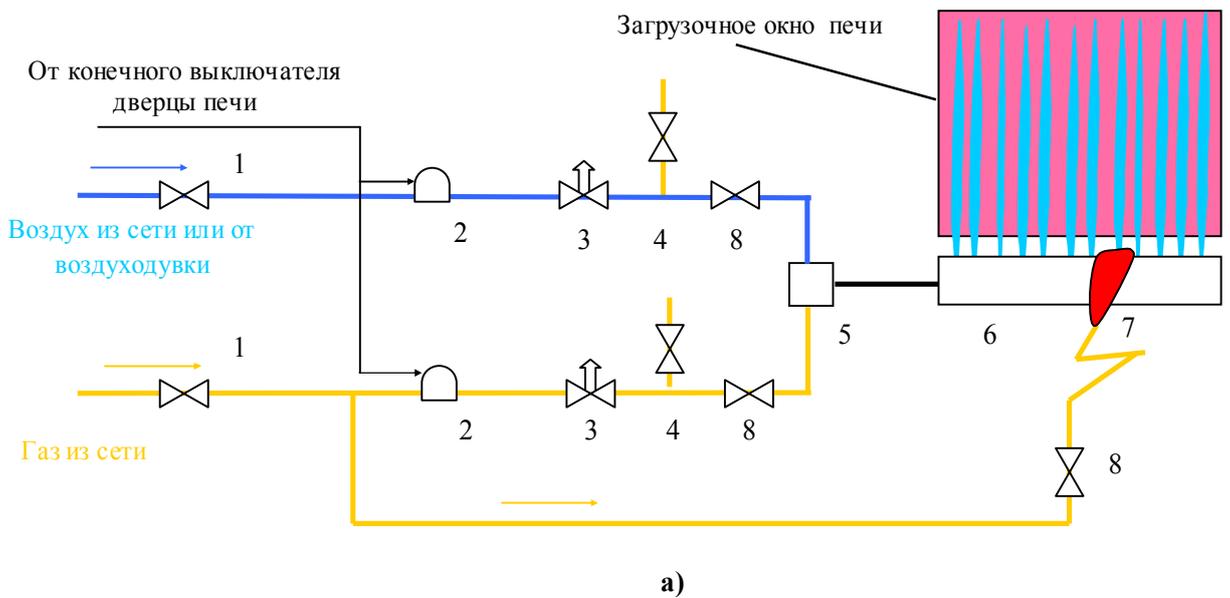
**РИС. 4 ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ УНИВЕРСАЛЬНОЙ КАМЕРНОЙ ПЕЧИ**  
**1 – ФУТЕРОВКА; 2 – НАГРЕВАТЕЛИ; 3 – ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ; 4 –**  
**ВЕНТИЛЯТОР; 5 – ПОЛУМУФЕЛЬ**

Для обеспечения постоянства химического состава атмосферы применяются газонепроницаемые сварные кожуха и уплотнительные прокладки. В качестве уплотнителей применяют хромовый порошок, песок, теплоизоляционные материалы. Количество утекаемой атмосферы из печи в зависимости от материала уплотнителей и давления газовой атмосферы на 1 метр соединения приведено на рисунке.



**РИС. 5 ГРАФИК УТЕЧКИ ГАЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДАВЛЕНИЯ В ПЕЧИ И МАТЕРИАЛА УПЛОТНЕНИЯ: 1 – РЕЧНОЙ ПЕСОК; 2 – КВАРЦЕВЫЙ ПЕСОК; 3 – ЦИРКОНИЕВЫЙ ПЕСОК; 4 – ТВЕРДОЕ УПЛОТНЕНИЕ**

Практика показала, что применение тамбуров больших объёмов затрудняет поддержание стабильного давления в тамбуре и самой печи. Во избежание этого стремятся уменьшить объём тамбуров или применять футерованные загрузочные тамбуры. Для устранения подсосов воздуха в тамбуре при открывании заслонок используют газовые завесы



**РИС. 6 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПЛАМЕННЫХ ЗАВЕС С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ (А) И ИНЖЕКЦИОННЫМ (Б) СМЕШЕНИЕМ ГАЗА И ВОЗДУХА: 1 – ЗАПОРНЫЙ КРАН; 2 – ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КЛАПАН; 3 – РЕГУЛЯТОР ДАВЛЕНИЯ; 4 – ШТУЦЕР ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ; 5 – ИНЖЕКЦИОННЫЕ СМЕСИТЕЛИ; 6 – ГОРЕЛКА ЗАВЕСЫ; 7 – ЗАПАЛЬНИК; 8 – РЕГУЛИРОВОЧНЫЙ КРАН**

Комплекс газораспределительных устройств должен обеспечивать не менее 4 – 5-кратного объёма газовой среды в объёме печи.

**ЗАКАЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА** – состоят из бака, механизма для перемешивания закалочной среды, нагревателей и охладителей. Конструкция современного закалочного устройства предусматривает герметичность и исключает контакт охлаждающей среды с атмосферой

цеха. Верхняя часть бака должна быть закрыта по всей поверхности, за исключением площади загрузочного тамбура, который герметично присоединен к каркасу печи. Объём закалочного бака – 10...15 литров на 1 кг закаливаемых в час деталей.

## 7 КАМЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

---

Это один из наиболее распространенных видов общепромышленных электропечей периодического действия, что объясняется тем, что они разнообразны по конструкции и назначению, удобны в использовании, просты в обслуживании. Из-за постоянного спроса камерные электропечи еще с 30-х годов выпускаются нашей промышленностью серийно (большой частью как ряды типоразмеров)..

### 7.1 ПРИМЕНЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ

---

Конструкция камерной печи принципиально проста - это теплоизолированный кожух с нагревателями и дверцей, закрывающей загрузочный проем. В связи с применением этого вида ЭПД для самых различных процессов нагрева и изделий имеется несколько типов камерных электропечей, конструктивные различия которых между собой определяются назначением и характером использования печей. В печах для термообработки стальных деталей рациональным соотношением размеров рабочего пространства является: высота примерно в полтора два раза меньше ширины, а длина в среднем во столько же больше ширины: дверца в этих печах обычно перемещается вверх-вниз, позволяя открывать загрузочный проем на любую высоту.

При разнообразии типов печи каждой из фирм отличает единство конструктивных решений, высокая степень унификации. В печах, рассчитанных на широкого потребителя, предусматривается, как правило, воздушная атмосфера в рабочем пространстве; защитная среда часто создается в помещаемых в печь герметичных емкостях контейнерах. В то же время все больше выпускаемых конструкций рассчитывается на применение подаваемых извне защитных атмосфер, в частности углеродосодержащих, из которых наиболее распространен

эндогаз, имеющийся на предприятиях с большим парком печей для термообработки.

Для загрузки и выгрузки камерных печей потребитель, как правило, использует универсальные типовые погрузочные средства типа тележек с подъемниками и т.п.; небольшие печи загружаются вручную.

Нашей промышленностью выпускаются электропечи широкого назначения типов СНО и СНЗ. В связи с применением камерных электропечей на предприятиях машиностроения к ним предъявляется целый ряд требований, соответствующих их специальному назначению. Так, комплекс современных технологических процессов обработки стальных деталей включает химико-термическую обработку - цементацию, нитроцементацию, азотирование и другие процессы и термическую обработку с повышенным качеством поверхности - светлую закалку, нормализацию, улучшение, светлый отжиг и т.д. Наряду с комплексностью обработки (осуществлением всех следующих один за другим этапов технологического процесса) требуется достаточно высокая производительность установок. Характерное использование этих печей - это выпуск деталей ограниченных серий, например обработка инструмента, опытных партий деталей основного производства, например подшипников и т.п.

При большом числе технологических процессов многие из них должны происходить в одной печи, оснащенной необходимыми устройствами - закалочным баком, системой охлаждения загрузки циркулирующим газом и другими устройствами, которые обычно выделяются в отдельную камеру. Такая комбинированная высокотемпературная электропечь как отдельная установка или в комплексе с печами на другие температуры и дополнительными устройствами (моечными машинами, сушильными установками) представляет собой современный камерный агрегат, который находит применение во многих отраслях машиностроения.

Камерные печи-агрегаты и комплексы применяются в мелко- и среднесерийном производстве, обычно имеющем широкую номенклатуру деталей, обрабатываемых сравнительно небольшими

партиями, что требует более или менее частого изменения температурного и газового режимов,

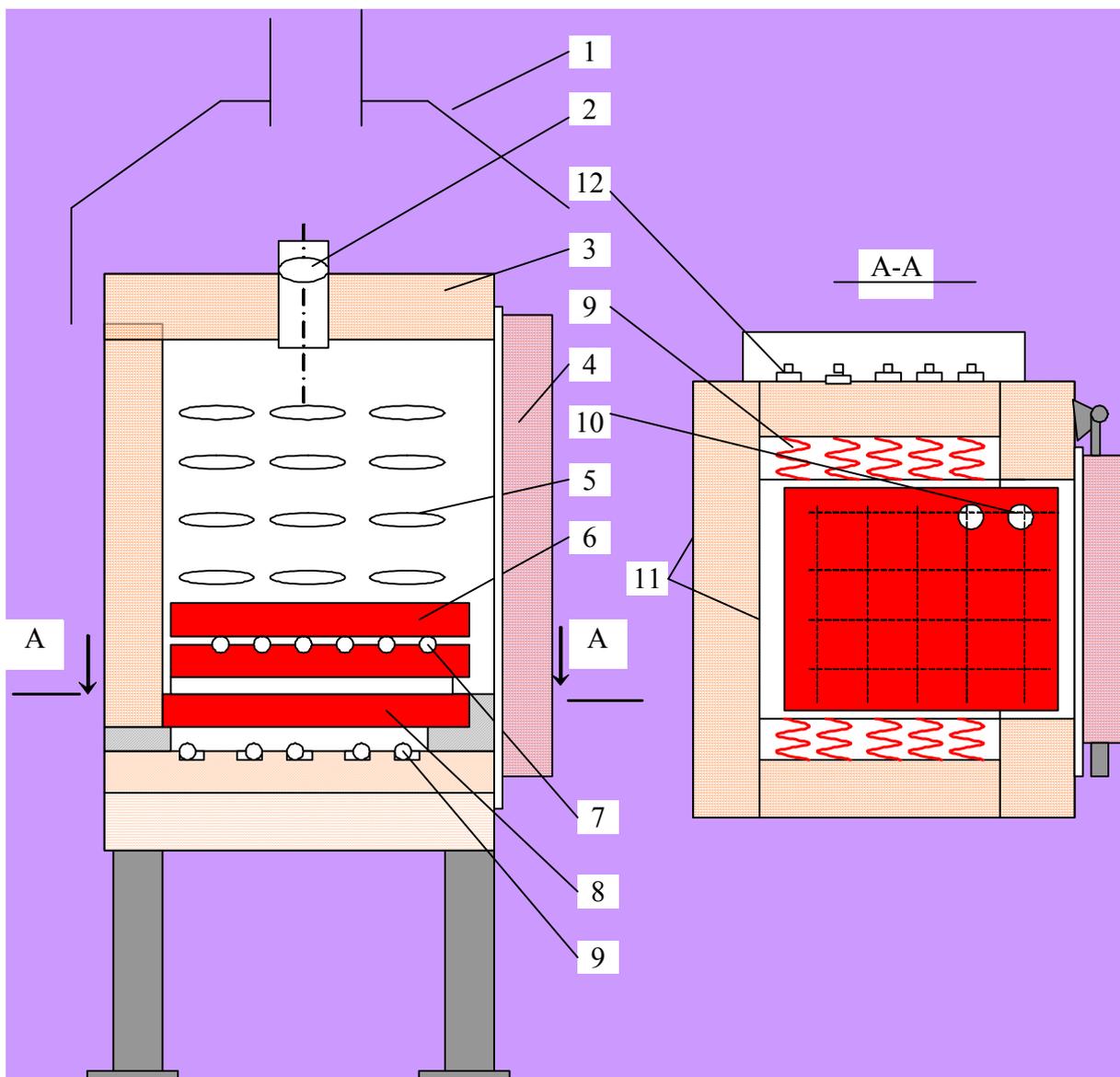
Основные конструктивные решения общих для всех камерных электропечей узлов - теплоизоляции (футеровки), нагревателей, дверцы, системы регулирования температуры и атмосферы - определяются главным образом уровнем номинальной температуры печи, а также спецификой, связанной с назначением печи.

## 7.2 НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ КАМЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

---

К низкотемпературным можно отнести камерные печи на номинальную температуру 300 - 750°C, для которых установились характерные конструктивные признаки. При данном уровне температуры печи для интенсификации переноса тепла в камере применяется принудительная направленная циркуляция внутри печной атмосферы. Для этого печи снабжаются вентиляторами, в камере предусматриваются направляющие устройства; в печах других конструкций специально облегчается естественная конвекция.

В низкотемпературных печах можно применять в качестве конструкционного материала в горячей зоне металл, поэтому для футеровки используются малопрочные, но эффективные теплоизоляционные материалы с низкой теплопроводностью и малой объемной массой. Кожухи печей на 300...500° С выполняются в виде каркаса с двойными стенками, между которыми укладывается теплоизоляционный материал. Для этой цели применяются волокнистые материалы из минерального волокна, стекловолокна, базальтового волокна. При этом взамен ваты и других мягких материалов типа рулонов, матов расширяется использование изделий, изготавливаемых промышленностью на основе ваты - главным образом плит, удобных для футерования прямоугольных печей. Одна из конструкций печей данного уровня температуры показана на рис. 7.

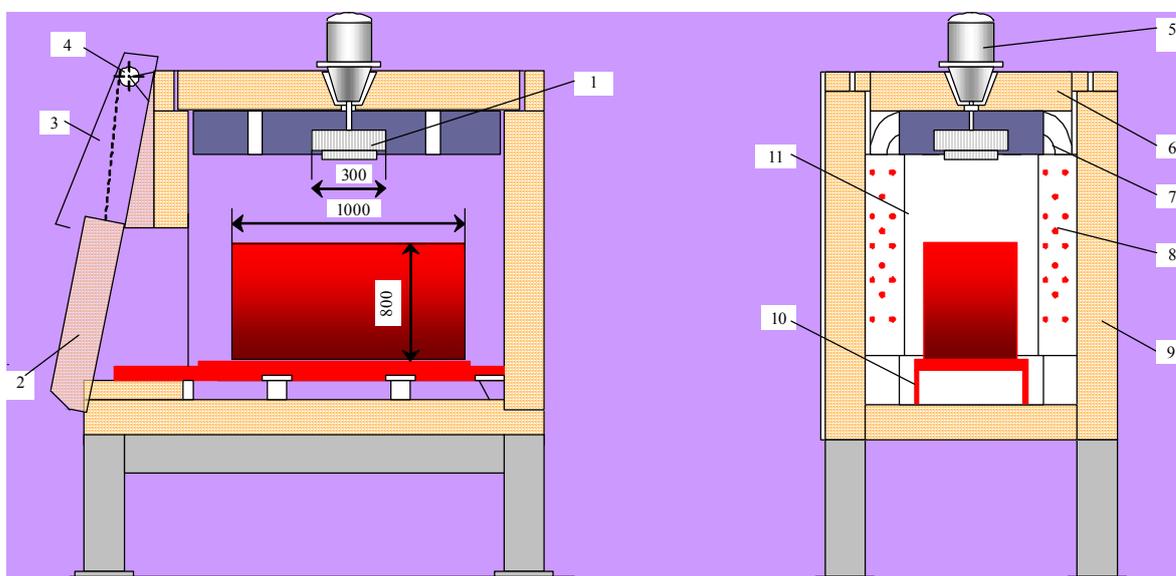


**РИС. 7 НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КАМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ: 1-ВЫТЯЖНОЙ ЗОНТ; 2-ЗАСЛОНКА; 3-ВОЛОКНИСТАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ; 4-ДВЕРЦА; 5-ПРОРЕЗИ ВНУТРЕННЕГО КОЖУХА; 6-ЗАГРУЗОЧНЫЙ ПОДДОН; 7-КАТКИ; 8-ВЫЕМНОЙ ПОДДОН; 9-НАГРЕВАТЕЛИ; 10-ОТВЕРСТИЯ В ВЫЕМНОМ ПОДДОНЕ; 11-КАРКАС; 12-ВЫВОДЫ НАГРЕВАТЕЛЕЙ**

Нагревательные элементы печей на 500 - 600°C, как правило, в виде проволочных спиралей размещаются в камере так, чтобы обеспечивался их эффективный обдув циркулирующим газом; при отсутствии циркуляции они устанавливаются в нижней части камеры. Следует отметить, что в рабочем пространстве камерной печи конструктивно более затруднена организация принудительно направленного газового потока, чем, например, в шахтной печи;

поэтому равномерность распределения температуры в рассматриваемых электропечах сравнительно невысока.

Каркас электропечи состоит из наружного и внутреннего кожухов, изготовленных из листовой и профильной стали; во внутреннем кожухе выполнены вертикальные каналы (карманы) с пазами и отверстиями для обеспечения естественной циркуляции воздуха. Нагреватели - проволочные спирали - уложены в пазах футеровки на поду печи. Пазы выполнены из легковесного шамотного кирпича марки ШЛ-0,4, остальная часть футеровки пода — из диатомитового кирпича. В полости между кожухами каркаса помещается теплоизоляция из минеральной ваты, как и в полости дверцы, также имеющей двойной каркас.



**РИС. 8 КАМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ АТМОСФЕРЫ: 1 - ВЕНТИЛЯТОР; 2 - ДВЕРЦА; 3 - ВЫТЯЖНОЙ ЗОНТ; 4 - МЕХАНИЗМ ПОДЪЕМА ДВЕРЦЫ; 5 - ДВИГАТЕЛЬ ВЕНТИЛЯТОРА; 6 - СВОД ПЕЧИ; 7 - НАПРАВЛЯЮЩИЕ; 8 - НАГРЕВАТЕЛИ; 9 - ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ; 10 - ОПОРЫ ЗАГРУЗОЧНОГО ПОДДОНА; 11 - ЭКРАН**

Дверца - поворотная, с винтовым прижимом для плотного прилегания. В своде печи имеется вертикальная труба с заслонкой, позволяющей регулировать отвод газов через вытяжной зонт.

Загружаемые для обработки детали укладывают на поддон, который помещается на поду печи на металлических вращающихся катках, что облегчает перемещение поддона при загрузке и выгрузке;

оси катков смонтированы в расположенных над нагревателями кронштейнах каркаса печи.

Типичной конструкцией камерной печи на температуру примерно 300-500°C является электропечь, которая входит в состав камерного комплекса-агрегата СНЦА в качестве отпускной печи (рис. 8). В ней предусмотрена характерная для камерных электропечей с принудительной циркуляцией атмосферы схема движения газа. На внутренних боковых стенках каркаса печи, заполненного мягким футеровочным материалом, размещены калориферы, состоящие из нескольких рядов проволочных спиральных нагревателей. Калориферы отделены от рабочего пространства печи экранами, которые наряду с изогнутыми по направлению газового потока направляющими в верхней и в нижней частях камеры создают канал для циркуляции газа. С помощью установленного в своде печи вентилятора воздух прогоняется вниз через калориферы и затем поднимается вверх, омывая загрузку.

Во многих низкотемпературных камерных печах отечественного изготовления в качестве нагревателей используются трубчатые нагревательные элементы. Среди них электропечи типов СНОС-6.7.12/3, СНО-7.6,3-10/6.

В состав выпускаемых в нашей стране агрегатов СНЦА в зависимости от варианта их комплектации входят камерные электропечи для высокого отпуска на номинальную температуру 750°C. Для агрегата СНЦА-5.10.5/7,5, в котором производится обработка садки размерами 500x1000x500 мм и максимальной массой 400 кг, применяется отпускная электропечь с теми же размерами рабочего пространства, установленной мощностью 84 кВт, расходом защитной атмосферы (экзогаза) до 15 м<sup>3</sup>/ч.

Электропечь выполнена в виде агрегата и состоит из камер нагрева и охлаждения в одном газоплотном кожухе.

Камера нагрева зафутерована шамотным легковесным кирпичом марки НШ-1,0 и огнеупорном слое и перлитокерамическим кирпичом плотностью 350 кг/м<sup>3</sup> в теплоизоляционном слое, под выложен плотным шамотным кирпичом в виде опоры для садки. В настоящее время конструкция перерабатывается с заменой материалов футеровки

на малоплотные, в частности на волокнистой основе. Нагреватели выполнены аналогично нагревателям высокотемпературной печи агрегата: проволочные зигзаги в специальных керамических изоляторах установлены в металлических трубах, расположенных вертикально вдоль боковых стен камеры. В своде печи установлен вентилятор-мешалка.

В камере охлаждения в зависимости от технологического процесса возможно охлаждение загрузки циркулирующим газом с помощью вентилятора либо в баке с водой. Вентилятор установлен в верхней части камеры, имеющей во до охлаждаемые стенки; двухъярусный загрузочный стол позволяет загружать очередную садку в печь при остывании предыдущей.

Аналогичная по конструкции отпускная электропечь выпускается для камерного агрегата СНЦА-8.12.5.6/7,5. Как и отпускные печи на 350°C, входящие в состав выпускаемых агрегатов СНЦА печи высокого отпуска не поставляются для отдельной установки, так как конструктивно приспособлены под загрузочные механизмы агрегатов.

### 7.3 СРЕДНТЕМПЕРАТУРНЫЕ КАМЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

---

Это печи на температуру от 900 до 1500°C; они составляют не менее 80% парка всех камерных электропечей.

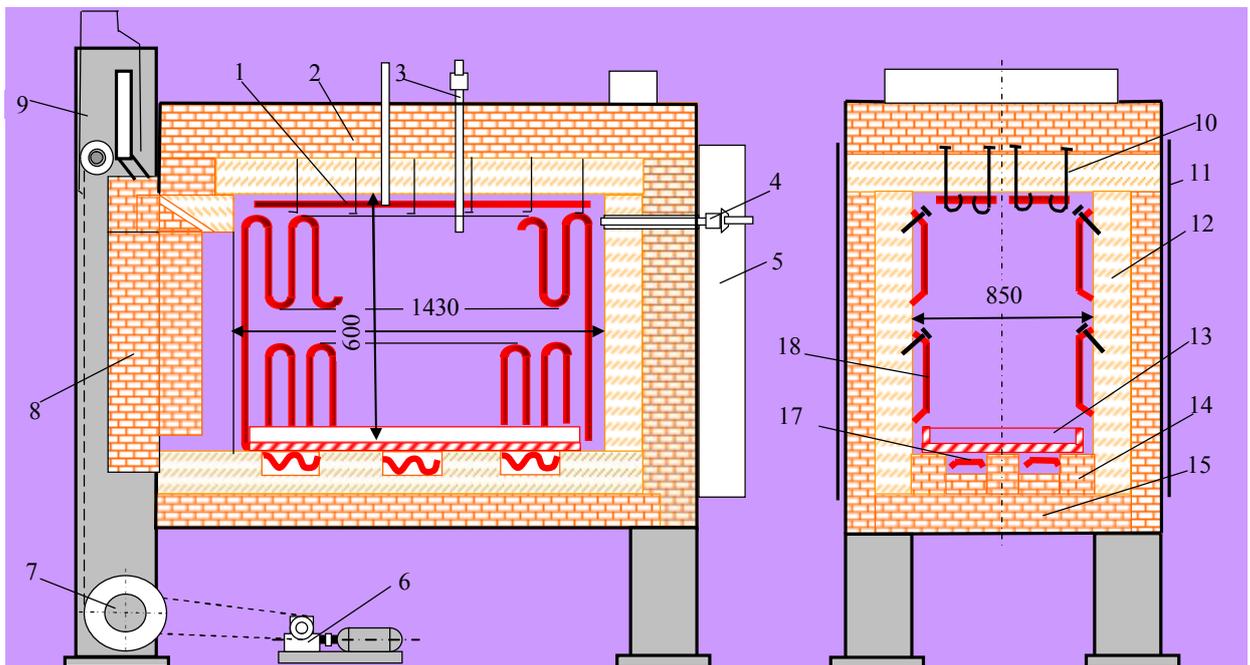
В основном это электропечи широкого назначения на номинальные температуры 1000 - 1200°C. Они используются главным образом для термообработки во вспомогательном производстве - в ремонтных и инструментальных цехах и участках предприятия, в механических мастерских, нередко и в основном производстве при небольшом плане выпуска; иногда печи этого уровня температуры применяются для низкотемпературных процессов, например отпуска, старения.

В этих печах применяются широко распространенные футеровочные материалы. Практическим преимуществом в эксплуатации их по сравнению с более высокотемпературными печами является применение нагревателей из сплавов сопротивления, сравнительно легко ремонтируемых и заменяемых. На основе этих

нагревателей могут быть созданы типоразмеры крупных печей; простота крепления позволяет размещать нагреватели на всех стенках, обеспечивая равномерность температуры в печи; при металлических нагревателях сравнительно несложно решаются системы регулирования мощности и температуры.

Заводы ЭТО в нашей стране выпускают серийно ряд типоразмеров печей этого типа с размерами рабочего пространства от 300 x 600 x 200 до 1100 x 2200 x 700 мм, номинальной температурой 1000 и 1200° С, мощностью от 14 до 135 кВт.

В печах с небольшими размерами рабочего пространства дверца открывается вручную, в крупных типоразмерах предусмотрен электромеханический привод. Электropечь СНО-9.14.7/10 И1 снабжена механизированным загрузочным столом. В отличие от низкотемпературных камерные электропечи этого температурного уровня в значительной степени унифицированы по конструктивным решениям. В частности, одни и те же типоразмеры выпускаются в двух исполнениях - для работы с воздушной и с защитной атмосферами.



**РИС. 2.3. КАМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ НА НОМИНАЛЬНУЮ ТЕМПЕРАТУРУ 1000°С С ЗАЩИТНОЙ АТМОСФЕРОЙ: 1- СВОДОВЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ; 2 - ПАКЕТЫ ИЗ МУЛЛИТОКРЕМНЕЗЕМНОГО ВОЛОКНА; 3 - ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ; 4 - ПОДВОД ЗАЩИТНОЙ АТМОСФЕРЫ; 5 - КОЖУХ ВЫВОДОВ НАГРЕВАТЕЛЕЙ; 6 - ПРИВОД МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ**

*ДВЕРЦЫ; 7 - МЕХАНИЗМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДВЕРЦЫ; 8 - ДВЕРЦА; 9 - КОЖУХ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДВЕРЦЫ; 10 — КРЮЧКИ ПОДВЕСКИ СВОДОВЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ; 11 - НАРУЖНЫЙ ЭКРАН; 12 - ФОРМОВАННЫЕ ВОЛОКНИСТЫЕ ПЛИТЫ; 13 - ПОДДОН; 14 - КОРУНДОВЫЙ ЛЕГКОВЕСНЫЙ КИРПИЧ; 15 - ПЕРЛИТОКЕРАМИЧЕСКИЙ КИРПИЧ; 16 - ПОДОВЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ; 17 - БОКОВЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ*

Основная часть печей поставляется в футерованном виде, что значительно облегчает ввод их в строи; для сравнительно крупных печей потребителю поставляются фасонные футеровочные изделия.

Ряд типоразмеров с близкими параметрами выпускает фирма Naber: размеры рабочего пространства от 250 x 350 x 250 до 1000 x 1300 x 500, температура 1150°C, мощность от 9 до 63 кВт, а также 250 x 350 x 250 и 350 x 500 x 250 мм, температура 1260°C, мощность 12 и 15 кВт. Дверцы печей открываются вручную с перемещением их в горизонтальном направлении для выдвигания из дверного проема и затем вертикально с незначительным усилием благодаря регулируемой балансировке рычажного механизма с противовесом. Объемы рабочего пространства печей совпадают с аналогичными нашими конструкциями, однако соотношение его размеров, как и в печах ряда других фирм, иное: при той же высоте длина и ширина соотносятся примерно как 1,4 (1,3): 1.

Камерные печи-агрегаты выполняются на номинальные температуры 950 - 1000°C в соответствии с температурой проведения газовой цементации конструкционных сталей, принимаемой в качестве основного технологического назначения агрегатов. Они могут комплектоваться отпускными печами и моечно-сушильными установками, объединяемыми между собой погрузочно-разгрузочным механизмом, перемещающимся по рельсовому пути. Возможно независимое применение печи-агрегата для проведения процессов химико-термической и термической обработки. Таким образом, камерные агрегаты по существу представляют собой гибкие производственные модули.

Печи этого вида отечественного и зарубежного производства представляют собой выполненные в одном кожухе камеры нагрева и охлаждения с механизированным перемещением загрузки между ними.

Регулированием состава углерод содержащей атмосферы достигается проведение диффузионных процессов и получение светлой поверхности деталей при закалке, нормализации, отжиге и последующем охлаждении. Камеры охлаждения в соответствии с диапазоном общепромышленных технологий универсальны по набору способов охлаждения, имеют закалочный масляный бак с подогревом и перемешиванием масла, вентилятор для интенсивного обдува загрузки гамом; возможно остывание садки на спокойной газовой среде с излучением тепла на водоохлаждаемые стенки камеры.

Нашей промышленностью выпускаются камерные печи-агрегаты (камерные универсальные механизированные печи) двух типоразмеров со следующими техническими данными:

	СНЦ-5.10.5/9,5 И2	СНЦ-8.12,5.6/9,5 И1
Установленная мощность, КВт	140	220
Мощность нагрева голо и печи, кВт	98	148
Номинальная температура, °С	950	950
Максимальная масса садки, кг	400	750
Температура закалочного масла, °С	60—160	60—160
Расход эндогаза, м3/ч	15	22

Печи выполнены как однокамерные агрегаты с загрузкой и выдачей садки со стороны камеры охлаждения. Камеры нагрева снабжены нагревателями, помещенными в жароупорные трубы, расположенные вертикально вдоль боковых стен. Поддон с деталями устанавливается на подовых опорах из карбида кремния; циркуляция газа осуществляется с помощью вентилятора типа мешалки, установленного в своде камеры. Такого же типа вентилятор в камере охлаждения. Стол в этой камере позволяет одновременно производить закалку и загрузку следующего поддона в камеру нагрева.

Печи-агрегаты зарубежного производства выполняются в одно- и двухкамерном исполнении — по количеству камер нагрева в одной печи. Так, фирма Aichelin предусматривает компоновочные решения, в которых одно- и двухкамерные печи имеют разгрузочный проем либо только в камеру охлаждения, либо дополнительно и с противоположной

стороны. Это позволяет в зависимости от преобладающего в программе технологического процесса выбрать рациональную конструкцию печи и компоновку ее с другими установками в одном агрегате.

Фирма Ipsen выпускает состоящий из более десяти типоразмеров ряд однокамерных печей-агрегатов на номинальную температуру 1000°C (максимальная 1100°C). Диапазон размеров рабочего пространства - ширина, длина, высота - от 280x460x300 до 1220x1520x760 мм соответственно максимальной массы садки от 90 кг до 1300 кг, мощности нагревателей от 27 до 180 кВт. Камера охлаждения выполняется в вариантах с одно- или двухъярусным по высоте столом, вентиляторами с рабочим колесом для перемешивания атмосферы или интенсивной циркуляции для ускоренного охлаждения загрузки.

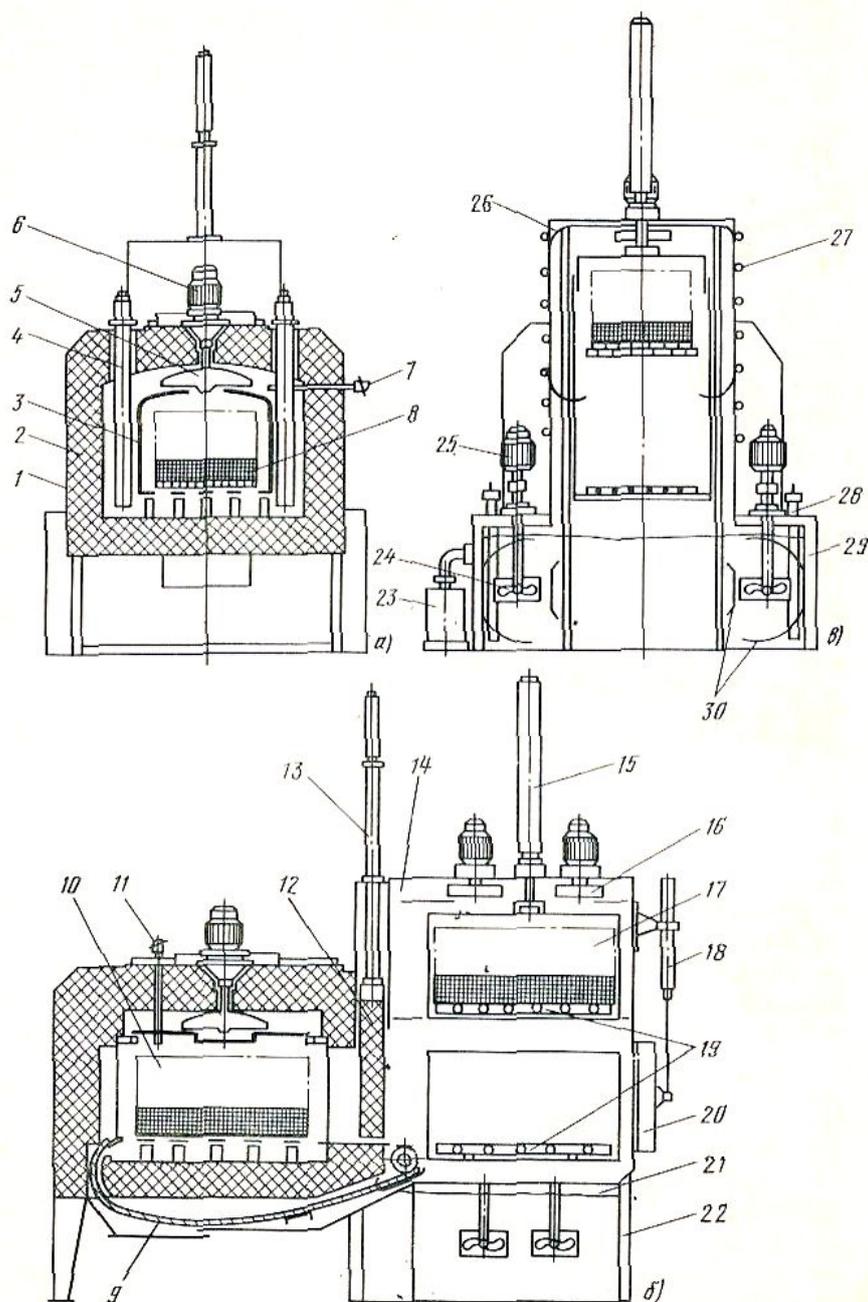
В камере нагрева загрузка помещается в муфеле, выполненном из секций; материал муфеля - карбид кремния или керамика. Подовая плита, на которой устанавливается загрузка, также карбидокремниевая и имеет отверстия для прохода циркулирующего газа. Муфель служит направляющим аппаратом для организации газового потока в камере. С помощью вентилятора, примыкающего к отверстию в верхней части муфеля, газ внутри печи обтекает трубы-нагреватели и засасывается снизу сквозь загрузку. Отверстия в центральной части подовой плиты имеют большую поверхность, чем по краям, что улучшает омывание газом внутренних деталей загрузки.

Муфель также предотвращает прямое излучение нагревателей на садку, создающее существенные перепады температуры по ее толщине. Наряду с теплопередачей через стенки муфеля, в том числе путем излучения, значительная часть тепла переносится интенсивно циркулирующим газом, что снижает перепады температуры в загрузке, обеспечивает примерно одновременный выход всех деталей на температуру начала диффузии, Позволяет обрабатывать сравнительно плотно упакованные садки с получением равномерного слоя насыщения.

Выпускаемые нашими заводами ЭТО типоразмеры камерных электропечей широкого назначения на номинальную температуру

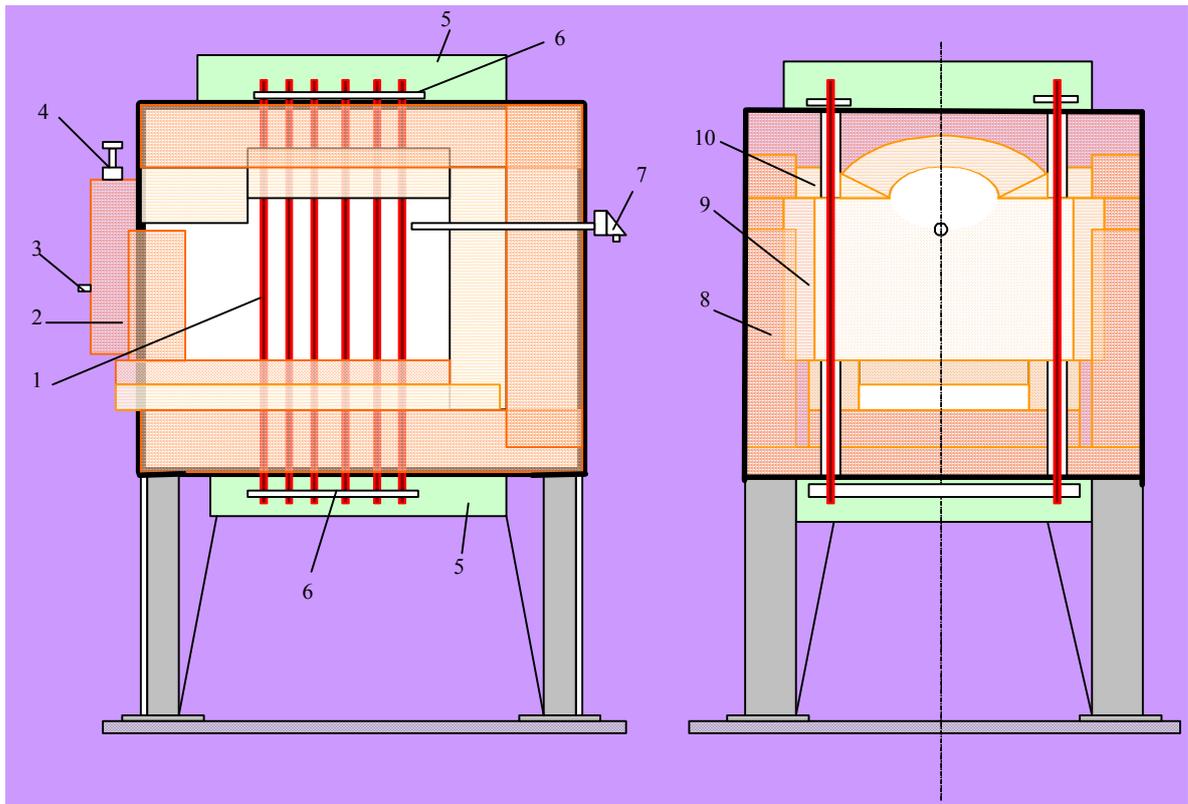
1300°C снабжены карбидокремниевыми стержневыми нагревателями, установленными вертикально вдоль боковых стенок камеры. Это печи с размерами рабочего пространства 300 x 400 x 250 и 400 x 800 x 250 мм, мощностью 30 и 50 кВт. Ряд типоразмеров печей такого же типа конструкции, поставляемых и в нашу страну, выпускает предприятие LEW.

Печи этого температурного уровня используют для термообработки инструмента, нередко взамен соляных ванн, как значительно менее загрязняющие окружающую среду. Они применяются для процессов обжига неметаллических материалов и изделий, например, в производстве люминофоров, для спекания металлических порошков, обжига керамики, нанесения высокотемпературных упрочняющих покрытий и т.д. В некоторых случаях их используют для нагрева металла, например, под ковку.



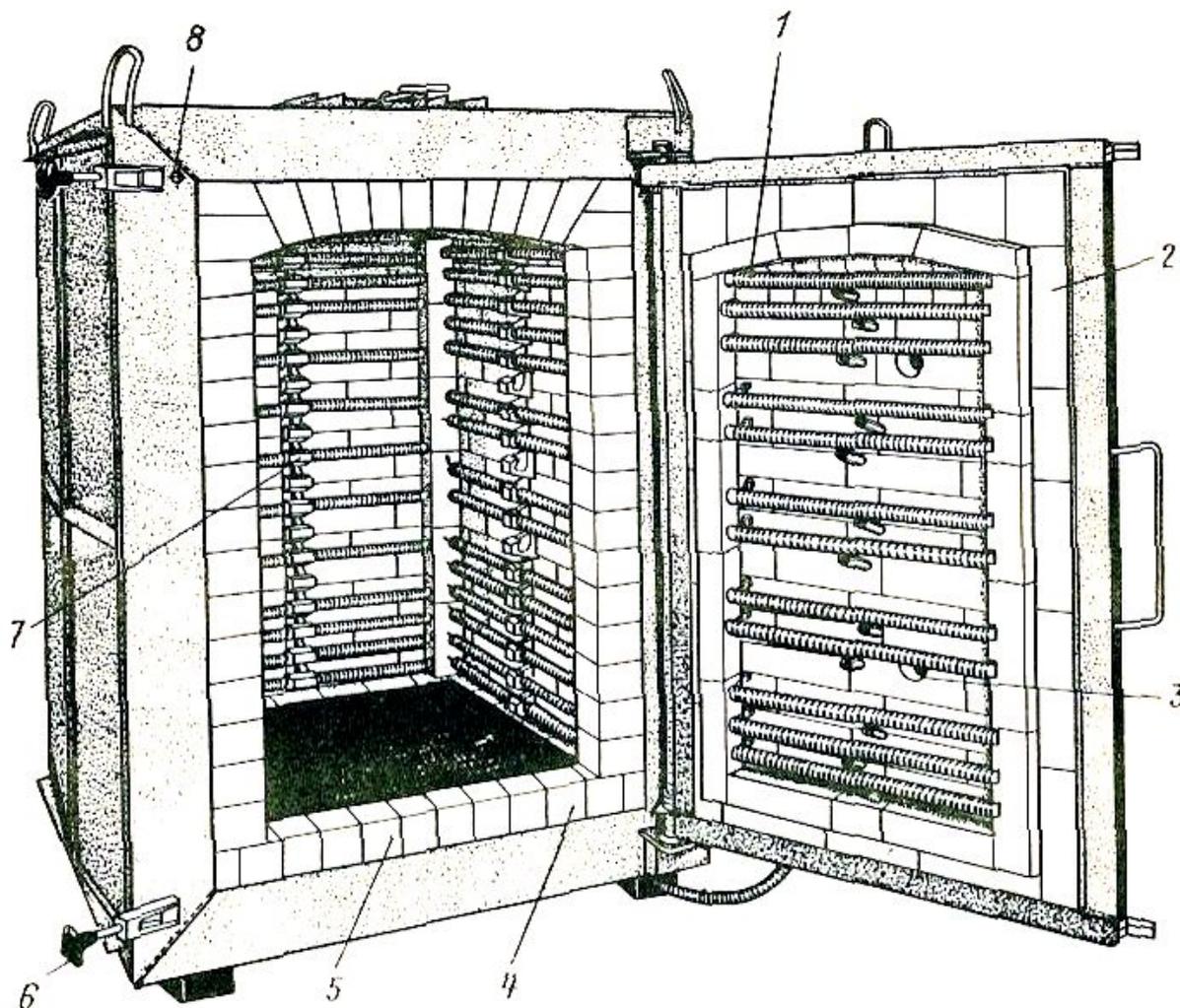
**РИС. 2.4. КАМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ-АГРЕГАТ: 1 - КАМЕРА НАГРЕВА; 2 - ФУТЕРОВКА; 3 - МУФЕЛЬ; 4 - НАГРЕВАТЕЛИ В ТРУБАХ; 5 — ВЕНТИЛЯТОР; 6 - ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ВЕНТИЛЯТОРА; 7- ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕЧИ; 8 - ПОДДОН ДЛЯ ЗАГРУЗКИ; 9 - ТРАНСПОРТЕР; 10 - НАГРЕВАЕМАЯ ЗАГРУЗКА; 11 - ДАТЧИК СОСТАВА АТМОСФЕРЫ; 12 - ВНУТРЕННЯЯ ДВЕРЦА; 13 - МЕХАНИЗМ ПОДЪЕМА ДВЕРЦЫ; 14 - КАМЕРА ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ГАЗОВОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЗАГРУЗКИ; 15 - МЕХАНИЗМ ПОДЪЕМА ЗАГРУЗОЧНОГО СТОЛА; 16 - ВЕНТИЛЯТОРЫ; 17 - ОХЛАЖДАЕМАЯ ЗАГРУЗКА; 18 - МЕХАНИЗМ ОТКРЫВАНИЯ НАРУЖНОЙ ДВЕРЦЫ; 19 - ЗАГРУЗОЧНЫЙ СТОЛ; 20 - НАРУЖНАЯ ДВЕРЦА; 21 - УРОВЕНЬ ЗАКАЛОЧНОГО МАСЛА; 22 - ЗАКАЛОЧНЫЙ БАК; 23 - ХОЛОДИЛЬНИК ЗАКАЛОЧНОГО МАСЛА; 24 - УСТРОЙСТВО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ И ЦИРКУЛЯЦИИ МАСЛА; 25 - ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ; 26 - НАПРАВЛЯЮЩИЕ ГАЗОВОГО ПОТОКА; 27 - ТРУБКИ ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НАРУЖНОЙ**

**ПОВЕРХНОСТИ КАМЕРЫ; 28 - НАГРЕВАТЕЛИ ПОДОГРЕВА МАСЛА; 29 - ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ЗАКАЛОЧНОГО БАКА; 30 — НАПРАВЛЯЮЩИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ МАСЛА**



**РИС. 2.5. КАМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ С КАРБИДОКРЕМНИЕВЫМИ НАГРЕВАТЕЛЯМИ: 1 - НАГРЕВАТЕЛИ; 2 - ДВЕРЦА; 3 - РУКОЯТКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДВЕРЦЫ; 4 - ОСЬ ПОВОРОТНОЙ ОПОРЫ ДВЕРЦЫ; 5 - КОЖУХ ВЫВОДОВ; 6 - ПЕРЕМЫЧКИ ВЫВОДОВ НАГРЕВАТЕЛЕЙ; 7 - ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ; 8 - МУЛЛИТОКРЕМНЕЗЕМИСТОЕ ВОЛОКНО; 9 - ШАМОТ ЛЕГКОВЕСНЫЙ ПЛОТНОСТЬЮ 1300 КГ/М3; 10 - МУЛЛИТОКОРУНД СРЕДНЕЙ ПЛОТНЫЙ; 11 - ШАМОТ ЛЕГКОВЕСНЫЙ ПЛОТНОСТЬЮ 1000 КГ/М3; 12 - ЗАЩИТНЫЙ ЭКРАН**

Фирма Naber выпускает ряд типоразмеров камерных печей на 1260 - 1340°C с проволочными нагревателями из железо хромо алюминиевого сплава сопротивления. Это печи с размерами рабочего пространства от 400x500x475 до 1000x1400x1600 мм, мощностью от 10 до 126 кВт соответственно. Дверцы печей открываются вручную с поворотом в сторону, размеры их близки к соответствующим размерам камеры. Нагреватели размещены на всех вертикальных стенках, на



**РИС. 2.6. КАМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ НА 1260°С: 1 - СПИРАЛЬНЫЕ ПРОВОЛОЧНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ НА КЕРАМИЧЕСКИХ ТРУБКАХ; 2-ОБМУРОВКА ДВЕРЦЫ; 3- СМОТРОВЫЕ ОТВЕРСТИЯ; 4- ОБРАМЛЕНИЕ ДВЕРНОГО ПРОЕМА; 5 - РУКОЯТКИ ВИНТОВЫХ ПРИЖИМОВ ДВЕРЦЫ В ЗАКРЫТОМ ПОЛОЖЕНИИ; 7 - КЕРАМИЧЕСКИЕ ФАСОННЫЕ ОПОРЫ ТРУБОК С НАГРЕВАТЕЛЯМИ; 8 - УПОР-ОГРАНИЧИТЕЛЬ ХОДА ДВЕРЦЫ**

В нашей стране серийно выпускается промышленная камерная электропечь на номинальную температуру 1500°С типа СНО-3,2.6.2,5/15 для обжига специальной керамики, металлокерамики, ферритов и т.д. Печь снабжена силицид молибденовыми U-образными нагревателями, расположенными вдоль боковых стен-камеры. Подобного назначения и конструкции печи выпускает, например, фирма Linn.

### 7.3.1 НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ КАМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ

Основные конструктивные элементы камерных электропечей рассматриваемого температурного уровня претерпели в последние годы существенные изменения.

Интенсивное расширение выпуска новых эффективных теплоизоляционных материалов, в том числе на волокнистой основе, позволило значительно улучшить конструкцию футеровки. Для камерных печей, используемых большей частью в одно- и двухсменных режимах, особенно важно применение футеровочных материалов с малой объемной массой, причем для огнеупорной части стен, которая является основным потребителем тепла, аккумулируемого при разогревах печи.

Из традиционных материалов для огнеупорного слоя в камерных печах с температурой 950-1300°C до настоящего времени используются легковесные изделия. В электропечах отечественного производства с воздушной атмосферой применяется шамотный легковесный кирпич объемной массой 1000 и 1300 кг/м<sup>3</sup>, с контролируемой углеродосодержащей атмосферой - корундовый легковес 1300 кг/м<sup>3</sup>; в поду, где требуется повышенная прочность, используются изделия из плотного шамота или корундового легковеса. В печи на 1500°C в огнеупорном слое применяются муллитовые легковесные изделия, для нагруженных деталей муллитовые среднеплотные.

Для теплоизоляционного слоя этих печей применяются пеницилинитовый кирпич в печах с воздушной атмосферой и перлитокерамический - с контролируемой; в печах с номинальной температурой 1200°C и выше футеровка трехслойная, прилегающая к огнеупорному слою часть теплоизоляции выполняется из легковесного шамотного кирпича плотностью 400 кг/м<sup>3</sup>.

В новых конструкциях серийных камерных электропечей на 1000 и 1200°C взамен традиционных футеровочных материалов применяются жесткие и мягкие изделия из муллитокремнеземистого и муллитового волокна в огнеупорном слое и во внутренней части теплоизоляционного слоя и минераловатные изделия во внешней части теплоизоляционного слоя. Из жестких, получаемых методом

формирования и последующего спекания изделий используются шамотно-волокнистые плиты, в частности, марки ШВП-350, и близкие по составу безобжиговые керамоволокнистые изделия объемной массой 350—380 кг/м<sup>3</sup>. Обе модификации футеровки электропечей - с плитами ШВП и с керамоволокнистыми изделиями - конструктивно взаимозаменяемы. Ненагруженные участки огнеупорного слоя в некоторых печах выполняются из мягких изделий, изготавливаемых из нарезанных и сложенных в пакеты листов рулонного материала; плотность пакетов около 200 кг/м<sup>3</sup>, из них выкладывается и теплоизоляционный слой футеровки. В нагруженных частях конструкций - опорах подовых плит, порогах дверного проема - частично используются традиционные огнеупорные изделия.

Применение мягких изделий из муллитового волокна намечено в огнеупорном слое камерных печей на 1300°С, где нагреватели закреплены на корпусе печи и футеровка разгружена. В новой печи на 1500°С для огнеупорного слоя предполагается использование, в частности, сфорокорундовых легковесных изделий плотностью 1000—1300 кг/м<sup>3</sup>, для теплоизоляционного слоя -- муллитового и муллитокремнезёмистого волокна.

Применение указанных материалов в футеровке камерных печей широкого назначения позволяет значительно повысить их технико-экономические параметры и эксплуатационные показатели: масса футеровок уменьшается в 3-4 раза, время разогрева печей до номинальной температуры сокращается в 2-3 раза, расход энергии на тепловые потери через теплоизоляцию снижается в 1,5-2 раза. Значительно сокращается трудоемкость изготовления печей.

С заменой материалов претерпевают изменения традиционные методы футерования печей. Монтаж формованных изделий осуществляется креплением их с помощью металлических анкеров и тяг между собой и к кожуху печи. На своде плиты подвешиваются с помощью тяг-шпилек с шайбами, поддерживающими плиты. Для компенсации усадки изделий между их торцами прокладывается мягкий волокнистый материал толщиной 10-15 мм. Мягкие изделия

закрепляются с помощью штырей, приваренных к кожуху; на своде - с помощью горизонтальных штырей.

В камерных электропечах с новыми футеровочными материалами предусматривается в основном сохранить решения конструкций нагревателей. Применяемые в печах малых типоразмеров с воздушной атмосферой спиральные нагреватели из проволоки диаметром 4... 5 мм либо устанавливаются на трубах, которые опираются на элементы из формованных волокнистых изделий, либо помещаются в пазах, выполненных в плитах. Разгруженные, т.е. не несущие нагревателей, стенки футеровки выполняют при этом из мягких волокнистых изделий.

В печах крупных размеров, как и во всех печах с защитной углеродсодержащей атмосферой, где требуется пониженное напряжение на нагревателях, последние выполняются в виде зигзагов из проволоки от 6 до 9 мм. С помощью штырей (на боковых стенках) и крючков (на своде), устанавливаемых на стенках футеровки из формованных волокнистых изделий, обеспечивается апробированное надежное крепление зигзагообразных нагревателей.

Применение волокнистых футеровочных материалов в безмуфельных печах-агрегатах, используемых для химико-термических процессов, в частности для цементации, к настоящему времени недостаточно изучено. В разрабатываемых модификациях этих печей, предназначенных для термической обработки, например светлой закалки, волокнистые материалы могут быть использованы наряду с упрощением конструкции нагревателей - выполнением их в виде зигзагов с креплением, как в печах широкого назначения.

Высокие теплоизоляционные свойства и незначительная аккумуляционная способность футеровки достигается, как это видно на примере новой конструкции печи СНО на 1500°C, также за счет применения традиционных материалов повышенного качества. Так, фирма NaBeг для камерных печей использует высокопористый легковесный кирпич стандартных размеров. В печах на 1150 - 1340°C огнеупорный слой футеровки выполняется из уложенного торцом

притертого с точными размерами кирпича на растворе с толщиной шва 1 - 1,5 мм. Теплоизоляционный слой выполнен из волокнистых изделий.

Нагреватели, конструкция и крепление которых также унифицированы для всех среднетемпературных печей фирмы, выполнены в виде спиралей на керамических трубках. Используется проволока диаметром 2 -- 3 мм из железохромоалюминиевого сплава. Трубки опираются в средней части стен на керамические фасонные опоры, вделанные в кирпичную кладку футеровки, а в углах камеры - на угловые столбики из этого же кирпича. Точная, с ручной подгонкой установка трубок обеспечивает гарантированный зазор между спиралью и стенкой и отсутствие контакта между нагревателями и футеровкой, что является, в частности, одним из условий сравнительно большого значения сопротивления электрической изоляции между нагревателями и кожухом в горячем состоянии печей.

Ряд фирм выпускает предназначенные для изготовления ЭПД формованные из волокнистых и керамоволокнистых материалов футеровочные модули - крупные элементы стен с вмонтированными в них либо нагревателями, например, спиральными на трубках (фирма VDM, Германия), либо элементами крепления, в частности, фасонной керамики для зигзагообразных нагревателей (фирма Kanthal, Швеция). В конструкциях с вмонтированными элементами крепления нагревателей также сведен к минимуму контакт нагревателей с поверхностью стен футеровки.

Размещение нагревателей на стенках камерных печей обусловлено, с одной стороны, необходимостью простоты и надежности конструкции, с другой стороны, обеспечением равномерного нагрева в соответствии с требованиями общепромышленных технологий. В среднетемпературных печах, где теплопередача осуществляется главным образом излучением, при распределении мощности в камере в большей степени, чем в конвективных печах, учитываются локальные источники тепловых потерь. В частности, для компенсации основного источника неравномерности температуры в камерной печи - дверного проема и дверцы - либо размещают нагреватели на самой дверце, либо увеличивают их удельную мощность на прилегающих участках стен,

например, сгущением нагревателей за счет уменьшения шага между проволокой в витках зигзагов или спиралей, как это выполнено в большинстве конструкций отечественного производства.

Обычными технологическими требованиями к равномерности нагрева является обеспечение равномерного распределения температуры в рабочем пространстве на выдержке. С этой целью мощность или, что то же, рабочую длину нагревателей, необходимо распределять по участкам внутренней поверхности стен камеры пропорционально тепловым потерям стен или их участков. В этом случае после окончания нагрева, когда регулятор температуры печи автоматически снижает мощность до уровня тепловых потерь, они будут компенсированы соответственно их значениям.

Принимая потери через стенки футеровки в среднем равномерными по всей поверхности камеры, в первом приближении распределяют мощность нагревателей так, чтобы количество нагревателей в верхней области камеры (над подовой плитой) и в поду было пропорционально площади поверхности стен в этих областях. В печи с близкими между собой размерами (в трех направлениях) рабочего пространства, где нагреватели размещают на всех стенках, выдерживают одинаковое соотношение мощности (длины) нагревателей и площади поверхности стен, на которых они установлены

При более подробном учете локальных потерь тепла перераспределяют мощность в пределах отдельных стенок. Так, в печах для обжига керамики фирмы Набег трубки со спиральными нагревателями размещены по высоте стен с неравномерным шагом (со сгущением их к углам) для компенсации повышенных потерь в этих участках стен, причем вблизи нижних углов плотность распределения трубок больше, чем вверху, ввиду возможных подсосов у пода и недостаточной мощности подовых нагревателей.

Многие традиционные источники дополнительных потерь и неравномерности температуры могут быть исключены в камерных печах. Так, выводы нагревателей в печах упомянутой фирмы выполнены в виде двух сплетенных проволок, являющихся

продолжением рабочей части нагревателя; они пропущены через стенку в углах камеры сквозь отверстия с диаметром, равным диаметру вывода, что исключает этот узел как источник существенных потерь тепла.

Конструкции дверцы в камерных печах уделяется значительное внимание из-за влияния дверного проема на распределение температуры в печи, с чем связано не только качество обработки, но и производительность печей, которая зависит от возможности использовать большую или меньшую часть площади поверхности пода при допустимых перепадах температуры в загрузке. В новых электропечах серий СНО и СНЗ предусматривается конструкция дверцы с принудительным прижимом ее в закрытом положении, в отличие от предыдущей конструкции с перемещением по наклонной передней стенке печи и прижатием за счет собственной массы дверцы. Конструктивные решения обрамления дверного проема в печах различны: его выполняют из плит чугуна или из толстолистовой стали. Недостатком этих решений является нарушение при эксплуатации плотности прилегания дверцы к обрамлению из-за действия высокой температуры, приводящего к короблению металла. Для устранения этого недостатка применяют решения с прилеганием дверцы не "металл к металлу", а "кирпич к кирпичу" выступ из кирпича по периметру дверцы прилегает в закрытом положении к кирпичному выступу обрамления дверного проема. Удаленные от горячей зоны металлические поверхности дверцы и передней стенки при этом значительно менее подвергаются действию высокой температуры и короблению. В печах с крупногабаритной поворотной дверцей для предотвращения ударов кирпича о кирпич при закрывании дверцы может быть предусмотрен регулируемый по высоте выступ на передней стенке печи в виде болта, в который упирается кронштейн на кожухе дверцы

Важное значение имеет также уплотнение с помощью дверцы камеры нагрева в печах-агрегатах, где газоплотность общего для камер нагрева и охлаждения кожуха не исключает возможности подсосов холодного газа из камеры охлаждения к нагреваемой загрузке, по данным измерений, подстуживание переднего торца садки по этой

причине может составлять 30-50°C. Один из путей решения этой задачи конструктивно предусматриваемый прижим дверцы к порогу или торцевой поверхности камеры нагрева, при этом механизм перемещения садки пропускается, например, под порогом дверного проема.

Разработанные в последние годы конструкции камерных печей содержат ряд принципиально новых решений в части автоматического регулирования температуры в печах широкого назначения и создания сложных систем управления работой печных агрегатов

Использование малотеплоемких волокнистых материалов в футеровке при позиционном регулировании температуры (когда периодически включается и выключается вся или часть мощности) может приводить к перегреву нагревателей, в частности, при разогревах печи и создавать значительные колебания температуры печи. Применение непрерывного и широтно-импульсного регулирования температуры, например, на базе широтно-импульсного регулятора БРТ-2 с питанием нагревателей от тиристорных регуляторов и на базе регулятора Р133 с питанием нагревателей от трансформаторов и тиристорных регуляторов исключает этот недостаток. Использование взамен указанных регуляторов температуры микропроцессорного программируемого регулятора обеспечивает возможность полной автоматизации ведения процесса термообработки в печи, позволяя программировать скорость подъема и конечные температуры на этапах нагрева и продолжительность выдержки

Программное управление процессом в камерных агрегатах позволяет включать наряду с программируемыми режимами температуры печи и состава атмосферы также управление механизмами, устройствами нагрева и охлаждения закалочной среды, охлаждающего газа. По данным фирмы Aichelin, целесообразно применение управляющей вычислительной машины (одной на несколько агрегатов, имеющих локальные системы управления) для процессов цементации, с помощью которой в ходе обработки постоянно вычисляются данные процесса науглероживания, а также объединяются функции традиционных регулирующих систем -

регулирование углеродного потенциала, температуры в течение цикла - в общую систему автоматизации процесса.

## 8 ШАХТНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

---

Наряду с камерными шахтные электропечи по своему числу также составляют основную часть действующего парка общепромышленных ЭПД. Наиболее просты по конструкции и в эксплуатации безмуфельные шахтные печи; они представляют собой вертикальный цилиндрический кожух из листовой и профильной стали, в котором помещена теплоизоляция (футеровка) и нагреватели, укрепленные на ней или на независимых элементах крепления. Печи этого типа сравнительно небольших размеров рабочего пространства (диаметром примерно от 600 до 1000 мм) используются для тех же целей, что и камерные электропечи широкого назначения, - для термической обработки различных изделий и деталей во многих отраслях промышленности.

Важным преимуществом в эксплуатации шахтных печей является возможность загрузки и выгрузки их с помощью универсальных подвесных механизмов типа кран-балок, тельферов и т.п., что весьма удобно при использовании печей для обработки многих изделий и материалов. В шахтной печи обеспечивается достаточно полное использование полезного объема камеры; малогабаритные детали загружают, как правило, в корзины, диаметр которых соответствует диаметру рабочего пространства; корзины устанавливаются в печи друг на друга по высоте шахты; крупные детали, например шестерни, кольца, различные сборочные узлы, крепят на специальных приспособлениях, которые также устанавливают по высоте печи, заполняя рабочее пространство.

Шахтные электропечи незаменимы при термообработке длинномерных изделий, например валов, штанг, труб, инструмента типа протяжек и другого, обрабатываемых в вертикальном положении, для чего изделия подвешиваются в печи с помощью приспособлений, что обеспечивает минимальные деформации при нагреве. Для промышленной шахтной печи необходим приямок для ее заглубления с

тем, чтобы загрузочный проем находился на удобной для обслуживания высоте (около 1 м) над уровнем пола, или (при отсутствии приямка) достаточная высота производственного помещения с сооружением рабочей площадки.

В ряде конструкций шахтных электропечей широкого назначения предусматривается применение защитных атмосфер, предотвращающих окисление деталей при термообработке, для чего кожух печи выполняется газоплотным и имеются устройства уплотнения крышки.

Для проведения общепромышленных процессов химико-термической обработки стальных изделий - цементации, нитроцементации, азотирования - выпускаются специализированные шахтные электропечи с муфелем, в котором создается необходимая технологическая атмосфера. Основным объемом проведения этих процессов в ЭППД приходится на шахтные муфельные электропечи; они используются по данному назначению на предприятиях машиностроения и других отраслей промышленности как во вспомогательном производстве - инструментальном, ремонтном, так и в основном, кроме крупносерийных производств, где применяются печи непрерывного действия.

Как и другие общепромышленные ЭППД, шахтные электропечи производятся серийно в виде рядов типоразмеров. Специфика их конструкции - сравнительно простой для изготовления кожух из цилиндрических обечаек - позволяет эффективно применять модульный принцип изготовления, изменяя размер печи по высоте (глубине) шахты. В связи с этим производители выпускают серии печей, в которых для каждого из ряда диаметров рабочего пространства имеется несколько типоразмеров, различающихся высотой.

Общепромышленные шахтные электропечи выпускаются в нашей стране и за рубежом на номинальные температуры от 600 до 1200°C. В пределах этого диапазона целесообразно рассматривать, как и в других ЭППД, две группы по уровню рабочих температур, с чем связаны конструктивные различия и технологическое применение печей.

## 8.1. НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ШАХТНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

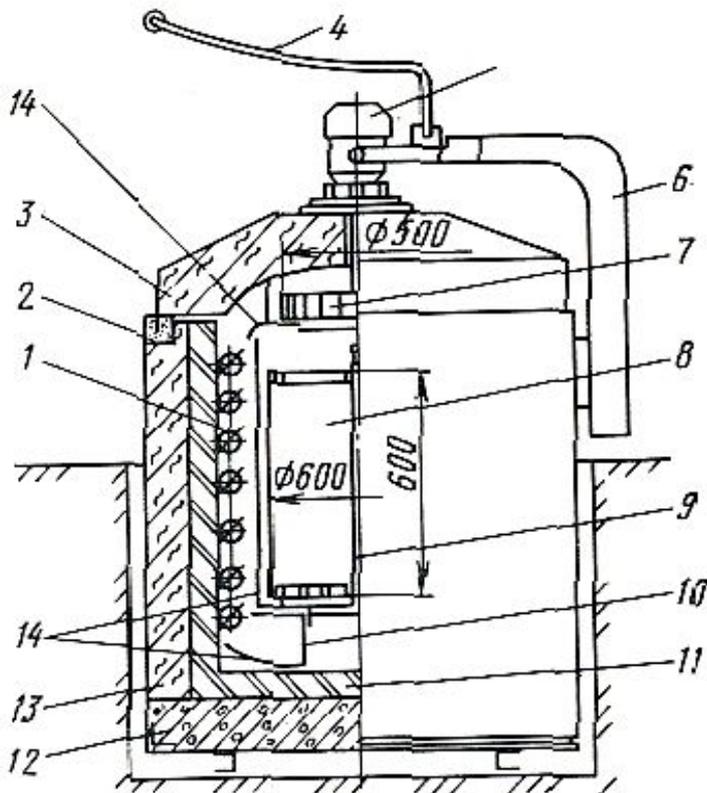
---

В нашей стране выпускается несколько конструктивно различающихся между собой серий шахтных печей на 600-750°С; среди них имеются муфельные и безмуфельные конструкции.

Повсеместное распространение получили печи типа СШЗ в безмуфельном исполнении на номинальную температуру 700(750)°С с диаметром рабочего пространства 600 мм. Ряд типоразмеров этих печей включает печи с высотой рабочего пространства от 600 до 3000 мм; основную часть выпуска составляют печи с высотой 600 и 1200 мм, которые снабжаются приспособлениями - корзинами из жароупорной стали - для укладки обрабатываемых деталей. Диапазон установленных мощностей печей серии — от 37 до 107 кВт, максимальной массы садки — от 650 до 1600 кг. Они используются в основном для отпуска стальных деталей, который может производиться в защитной атмосфере (например, экзогазе); применяются также для термообработки цветных металлов и в других процессах во многих производствах.

Для интенсификации теплообмена и обеспечения равномерности нагрева в печах данного температурного уровня применена во всех конструкциях серии принудительная циркуляция внутрипечной атмосферы, как наиболее рациональная. В безмуфельных печах направленное движение газа через нагреватели и затем сквозь загрузку происходит с помощью встроенного вентилятора и направляющего аппарата, который включает обечайку из листовой жаропрочной стали, установленную в шахте и отделяющую нагреватели от загрузки, и конусообразные направляющие (закрылки) из той же стали в торцах

шахты для обеспечения плавного поворота потока (рис. 3.1).



**РИС. 9 НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ШАХТНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ АТМОСФЕРЫ: 1 - НАГРЕВАТЕЛИ; 2 - ПЕСОЧНЫЙ ЗАТВОР; 3 - КРЫШКА; 4 - РУЧНОЙ РЫЧАЖНЫЙ МЕХАНИЗМ ПОДЪЕМА КРЫШКИ; 5 - ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ВЕНТИЛЯТОРА; 6 - ОПОРА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА КРЫШКИ; 7 - ВЕНТИЛЯТОР; 8 - КОРЗИНА; 9 - ШТАНГА ПОДЪЕМА КОРЗИНЫ; 10 - ОПОРА САДКИ; 11 - ШАМОТНЫЙ ЛЕГКОВЕСНЫЙ КИРПИЧ; 12 - ПЕРЛИТОКЕРАМИКА; 13 - ПАКЕТЫ МУЛПИТОКРЕМНЕЗЕМНОГО ВОЛОКНА; 14 - НАПРАВЛЯЮЩИЕ ГАЗОВОГО ПОТОКА**

Выбор места установки вентилятора в нижней или верхней части шахты определяется комплексом в известной степени взаимно противоречащих факторов, связанных с обеспечением высоких теплотехнических параметров печи и надежностью ее в эксплуатации. При установке в дне шахты имеется возможность применять вентиляторы повышенной мощности и производительности; однако такое расположение связано с известными неудобствами в обслуживании узла вентилятора с электродвигателем и, кроме того, создаст условия, при которых обрабатываемые детали, попадая в нижнюю часть шахты, приводят к поломке крыльчатки. При установке в крышке печи улучшается доступ к вентилятору для обслуживания, и он менее подвержен случайным поломкам.

Благодаря направленной циркуляции атмосферы в печах данной серии обеспечивается равномерность нагрева не хуже  $\pm 5$  С. Дальнейшее повышение равномерности распределения температуры в печах подобных конструкций связано с совершенствованием компоновочных решений. При данном уровне номинальных температур печи за счет лучистого теплообмена возможно подстуживание горнов рабочего пространства при размещении нагревателей только на боковой поверхности камеры, которое рационально и данных конструкциях, для устранения снижения температуры торцов должно быть предусмотрено перекрытие нагревателями рабочего пространства по высоте. Крыльчатку вентилятора и торцевые поправляющие элементы следует размещать возможно ближе к рабочему пространству во избежание подстуживания циркулирующего газа у необогреваемых участков камеры.

В шахтных низкотемпературных электропечах конструктивно сравнительно просто обеспечивается интенсивная и равномерная направленная циркуляция газа, что позволяет применять калориферную конструкцию нагревателей. Расположенные между боковой стенкой футеровки и обечайкой направляющего аппарата проволочные спиральные нагреватели закрепляются в керамических шайбах, установленных на кронштейнах из листовой жароупорной стали; при такой конструкции нагреватели омываются продуваемым через них газом, и теплосъем с них осуществляется в основном за счет конвекции.

С повышением уровня номинальных температур печи от 600 до 750°С, что связано с расширением технологического применения, в частности, для высокого отпуска, основным становится лучистый перенос тепла в печи, что учитывается при конструировании и расчете нагревателей. В выпускаемых в настоящее время модификациях спирали нагревателей крепятся к стенке футеровки с помощью штырей из той же проволоки, которые устанавливаются (забиваются) в предварительно засверленные отверстия в стенке так же, как штыри крепления зигзагообразных нагревателей. Этот способ крепления, применимый для печей данного температурного уровня, когда

нагреватель еще сохраняет необходимую прочность, позволяет существенно сократить расход дефицитных жаропрочных сплавов при изготовлении и в эксплуатации, уменьшить диаметр печей.

Имеется ряд других типоразмеров шахтных безмуфельных электропечей аналогичного назначения с большими размерами рабочего пространства, и частности, диаметром 1500 и 2500 мм, высотой соответственно 3000 и 2000 мм, установленной мощностью около 200 и 300 кВт, массой садки 6 и 5 т. Большие размеры конструкций позволяют применить в них зигзагообразные проволочные нагреватели типового исполнения, закрепленные на стенках футеровки с помощью штырей.

Крышки шахтных безмуфельных электропечей уплотняются с помощью песочного затвора с кольцевым каналом на кожухе печи и ножом в крышке. Механизм подъема и отвода крышки в печах с диаметром рабочего пространства 600 мм - ручной рычажный, в крупных печах - с электромеханическим приводом для подъема и отката ее в сторону; при откате крышка опирается на тележку, перемещающуюся по рельсу, уложенному на полу цеха по радиусу или по прямолинейной траектории движения крышки.

Специализированные конструкции низкотемпературных шахтных электропечей, в которых предусматривается герметичный муфель, предназначены главным образом для проведения газового азотирования конструкционных сталей при температуре до 700°C; в технологиях этих процессов используются атмосферы на основе частично диссоциированного аммиака и различных добавок, в том числе углеродсодержащих газов - природного, эндогаза и экзогаза, продуктов пиролиза синтина, керосина и др. В нашей стране применяется несколько типоразмеров муфельных электропечей типа США на указанную рабочую температуру, которые в настоящее время модернизируются, в частности, с целью унификации их конструкций с другими типами выпускаемых шахтных печей. Муфель в этих печах (в технической документации на печи и в литературе встречаются названия: контейнер, реторта) сварен из листовой нержавеющей стали и выполнен в виде стакана с отбортовкой, которой он опирается на

верхнюю поверхность печи; здесь выполнен песочный затвор (нож на отбортовке муфеля), устраняющий подсосы наружного воздуха в печное пространство (шахту).

Печи ряда типоразмеров этой серии снабжаются двумя муфелями: в одном можно производить нагрев в то время, как в другом осуществляется охлаждение деталей после термообработки, например, в охладительном колодце, куда переносится муфель. В крупных печах муфель установлен в камере нагрева стационарно, а для ускоренного охлаждения печи с загрузкой после термообработки в печной камере предусмотрены коллекторы, по которым можно подавать холодный воздух из цеха.

Муфель в рабочем положении закрывается тепло изолированно и крышкой с фланцем; между ним и отбортовкой муфеля имеется резиновое уплотнение, для обеспечения работы которого предусмотрено местное водяное охлаждение. В крышке установлен вентилятор, который совместно с имеющимися на ней и в муфеле направляющими создает интенсивную циркуляцию атмосферу в рабочем пространстве. В крышке же имеются патрубки для подвода рабочих газов требуемого по технологии состава и для установки термопреобразователя, предназначенного для контроля температуры внутри муфеля.

Для теплоизоляции шахтных электропечей данного температурного уровня используются практически те же материалы, что и для печей на более высокие температуры. В огнеупорном слое применяют шамотные изделия с объемной плотностью 600-1000 кг/м<sup>3</sup> и изделия из муллитокремнеземистого волокна, в том числе формованные и изготавливаемые из мягкого волокна; для теплоизоляционного слоя могут быть применены изделия на основе волокон с более низкой температурой применения - для боковых стен и крышек - и формованные пористозернистые изделия, в частности перлитцементные, асбестовермикулитовые и др. - для теплоизоляции пода.

В качестве загрузочных приспособлений наряду с поставляемыми вместе с печами металлическими корзинами потребители используют,

например, сварные конструкции типа этажерок. При обработке деталей, загружаемых насыпью, нередко используются также унифицированные по размерам корзины из жаропрочной стали, применяемые в серийных шахтных цементационных электропечах.

Шахтные электропечи рассматриваемой группы выпускаются крупными сериями печестроительными предприятиями ряда стран и фирм. Например, предприятием ZEZ (Чехия) выпускается более десяти типоразмеров шахтных электропечей на номинальную температуру 750°C, из них: безмуфельные с диаметром рабочего пространства 600 и 800 мм, высотой от 800 до 3000 мм, номинальной мощностью от 44 до 156 кВт и муфельные печи с диаметром рабочего пространства 450 и 650 мм, высотой 800-2000 мм, мощностью от 44 до 115 кВт. Разработанная фирмой Degussa серия муфельных электропечей для газового азотирования включает 13 типоразмеров, различающихся диаметром рабочего пространства — от 400 до 1600 мм, его высотой от 600 до 3500 мм, номинальной мощностью от 31 до 176 кВт, потерями холостого хода от 5 до 23 кВт-ч/ч. Фирма Borel (Швейцария) выпускает циркуляционные вертикальные электропечи на 550 и 750°C в различном исполнении: с муфелем или без него, с расположением вентилятора в крышке или в поду шахты.

## 8.2 СРЕДНТЕМПЕРАТУРНЫЕ ШАХТНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИИ

---

Диапазон рабочих температур этих печей ограничен применением металлических нагревателей, так как конструктивное выполнение промышленной шахтной электропечи с использованием, например, карбидокремниевых нагревателей, выпускаемых в виде стержней, затруднено. В соответствии с принятым в нашей стране типовым рядом номинальных температур для общепромышленных электропечей средне температурные шахтные печи широкого назначения безмуфельные выпускаются на номинальные температуры 1000 и 1200°C; муфельные электропечи для процессов химико-термической обработки стальных изделий на 900 - 950° С.

В отличие от камерных электропечей, для установки которых обычно не требуется, например, выполнения приямка или даже специального фундамента, что облегчает их использование в самых различных производствах, шахтные печи, в том числе широкого назначения для данного температурного уровня, применяются большей частью для термообработки металла - для отжига, закалки, нормализации деталей из различных марок стали.

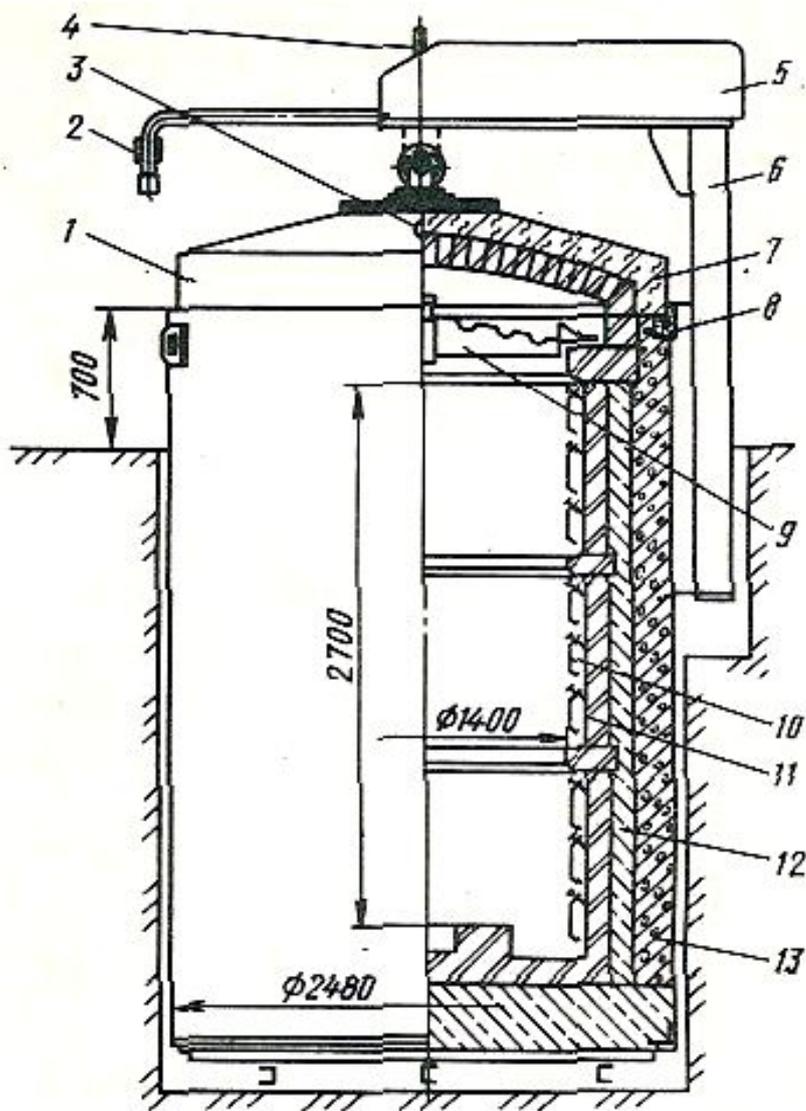
Печи данной группы выпускаются отечественной промышленностью с окислительной и с защитной атмосферой - СШО и СШЗ (рис. 10). Большая часть печей выпускается с диаметром рабочего пространства 600, 1000 и 1500 мм и высотой, равной диаметру или удвоенному его значению. Они рассчитаны на применение для массовой продукции - сравнительно малогабаритных деталей, загружаемых в тару типа корзин, контейнеров или приспособлений в виде крестовин, плит с гнездами для установки деталей и г.п. Более глубокие печи этого ряда (до 3000мм) на 1000° С предназначены для термообработки длинномерных изделий, которые подвешиваются в печи с опорой в верхней части камеры, где предусматриваются местное усиление металлоконструкции кожуха и более прочные элементы в футеровке.

Нагреватели выполнены в виде проволочных зигзагов, как наиболее надежная конструкция для печей данного температурного уровня. Материал нагревателей - никельхромовый и железохромоалюминиевый сплавы соответственно для печей с номинальной температурой 1000 и 1200°С; питание нагревателей - от сетевого напряжения (первых) и через понижающие трансформаторы (вторых).

В сравнительно неглубоких типоразмерных печей (до 1 - 1,2 м по рабочему пространству) все нагреватели, которые в этих печах также размещены на боковой стенке футеровки, объединяются в одну тепловую зону, т.е. управление их тепловыделением производится от одного датчика (термоэлектрического преобразователя). В муфельных печах распределение нагревателей по поверхности стенки должно обеспечивать равномерный нагрев муфеля без термических напряжений. Тепловые потери торцевых поверхностей камеры

компенсируются за счет соответствующего превышения высоты шахты (точнее, той части поверхности шахты, на которой размещены нагреватели) над высотой рабочего пространства. В более глубоких печах для получения равномерного распределения температуры по высоте печи нагреватели разделяют на несколько самостоятельно регулируемых тепловых зон.

Снижение теплотерь в торцевых участках печи за счет улучшения их теплоизоляции, в частности теплоизоляции крышки, повышая равномерность температуры в печи, позволяет использовать полностью объем рабочего пространства с высоким качеством термообработки, сокращает продолжительность процесса благодаря одновременному выходу на рабочую температуру всех участков загрузки. В находящихся в эксплуатации печах футеровка крышек либо выполнена в виде арки из шамотного (в печах СНО) или корундового (СШЗ) легковесного кирпича, поверх которой уложены теплоизоляционные материалы, либо крышка выполнена со сварным металлическим днищем и заполнена сыпучим или мягким волокнистым материалом; во втором случае теплоизоляция нередко выходит из строя из-за коробления, разрыва сварных швов в металле, подверженном воздействию горячей зоны печи.



**РИС. 10 ШАХТНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ НА НОМИНАЛЬНУЮ ТЕМПЕРАТУРУ 1200°С С ЗАЩИТНОЙ АТМОСФЕРОЙ: 1 - КРЫШКА; 2 - КНОПКИ УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЕМОМ КРЫШКИ; 3 — ПОДХОД ГАЗА; 4 — ОТВОД ГАЗА; 5 — КОЖУХ; 6 — ОПОРА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА КРЫШКИ; 7 - МУЛЛИТОКРЕМНЕЗЕМИСТОЕ ВОЛОКНО; 8 - ПЕСОЧНЫЙ ЗАТВОР; 9 -ОСНАСТКА ДЛЯ ПОДВЕСКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАГРУЗКИ; 10 — НАГРЕВАТЕЛИ; 11 - КОРУНДОВЫЙ ЛЕГКОВЕСНЫЙ КИРПИЧ; 12- ШАМОТНЫЙ ЛЕГКОВЕСНЫЙ КИРПИЧ; 13 -ПЕРЛИТОКЕРАМИЧЕСКИЙ КИРПИЧ**

Более стойкой является теплоизоляция крышек с применением изделий из высокотемпературного, например муллитокремнеземистого, волокна в виде пакетов листов, нарезанных из рулонного материала (или из войлока, фетра), либо формованных изделий типа плит. Пакеты крепятся в крышке с помощью горизонтальных штырей, на которые они накалываются и

удерживаются на них в рабочем положении; плиты подвешиваются с помощью вертикальных анкеров (тяг) с шайбами .

Огнеупорный слой футеровки шахты в печах этого температурного уровня в традиционном исполнении выполняется из легковесных изделий, в частности секторных кирпичей, теплоизоляционный - из формованных изделий зернистой структуры-пенодиатомитовых или керамоперлитовых в зависимости от атмосферы в печи. В разработанных к настоящему времени конструкциях печей применены волокнистые футеровочные материалы, что позволило резко уменьшить массу печей, уменьшить их размеры.

При применении формованных волокнистых изделий в огнеупорном слое футеровки практически не изменяется система крепления нагревателей; выкладка шахты плитным материалом сравнительно небольших, размеров с заменой цилиндрической формы поверхности камеры на многоугольную не требует изменения конструкции нагревателей. Ряд зарубежных фирм при футеровании промышленных шахтных печей использует футеровочные модули, изготовленные из волокнистых материалов, в частности, методом вакуумного формования сравнительно крупные элементы огнеупорного слоя. Например, фирма Kanthal (Швеция) использует модули размерами в плане примерно 500x300 мм, толщиной до 150 мм, в которых заформованы керамические изоляторы для крепления зигзагообразных металлических нагревателей, навешиваемых на стенку футеровки после того, как выложена шахта.

Муфельные электропечи данной температурной группы предназначены для процессов цементации, нитроцементации, для термообработки с получением светлой поверхности - отжига, закалки, нормализации, высокого отпуска, а также для процессов спекания, пайки твердым припоем и др. В зависимости от условий потребителя применяется газовая цементация в контролируемых атмосферах (эндогазе) с добавками, например, пропана, в природном газе, в смесях азота с углеводородами и цементация с использованием жидких карбюризаторов, подаваемых в рабочее пространство печи, например, в виде капель. При нитроцементации к углеродсодержащим газам

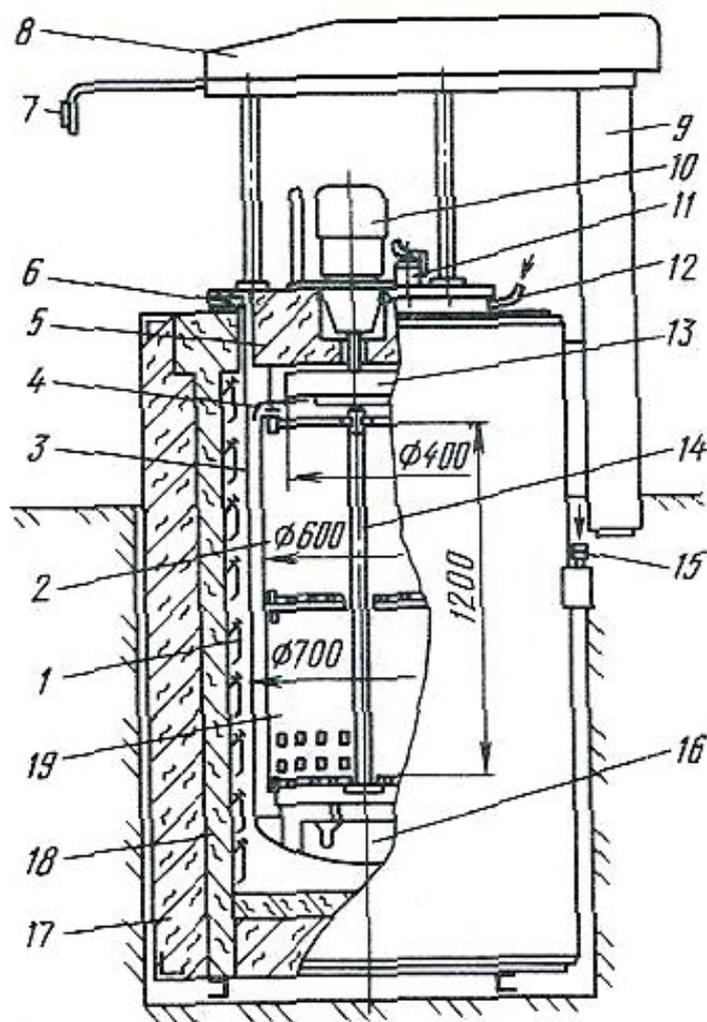
добавляется аммиак. В качестве защитной атмосферы, предотвращающей окисление и обезуглероживание, могут использоваться эндо и экзогаз с различными добавками

В нашей стране серийно выпускаются муфельные электропечи типа СШЦМ с диаметром рабочего пространства 600 мм и рядом размеров по его высоте - от 600 до 3000 мм, мощностью от 63 до 153 кВт, с максимальной массой садки от 400 до 1200 кг. Имеется крупная электропечь с диаметром рабочего пространства 2500 и высотой 2000 мм, мощностью 380 кВт, максимальной массой садки 5000 кг. Электропечи предназначены для работы на жидких карбюризаторах, по требованию заказчика могут поставляться с газоподводами для работы с газом

При обработке в технологических атмосферах требуется их достаточно интенсивное перемешивание для равномерного смывания деталей газом и выравнивания температуры в загрузке. Циркуляция внутри муфеля в цементационных шахтных печах осуществляется, как правило, с помощью вентилятора с лопастным колесом и системы направляющих, сваренных из листовой жаропрочной стали, включая вертикальную обечайку, внутри которой помещается загрузка, и отбортованную поверхность в верхней части муфеля. Организация газового потока предусматривает протекание газа в щели между обечайкой и муфелем и затем через загрузку. При использовании загрузочных корзин, которые устанавливаются в муфеле одна над другой, газ протекает в щели между стопой корзин и муфелем, поступая к садке через отверстия в нижней корзине. Циркуляция газа по предусмотренной конструкцией печей схеме позволяет получить равномерный по толщине диффузионный слой. Применяемое иногда в практике эксплуатации упрощенное исполнение Крыльчатки вентилятора, например в виде крестовины, не обеспечивает в достаточной степени направленной циркуляции и может служить причиной неравномерной обработки.

В отечественных и в большинстве зарубежных конструкций цементационных печей в настоящее время применяется расположение вентилятора в верхней части муфеля; он встраивается в тепло

изолированную крышку, закрывающую горловину муфеля. Известны также действующие цементационные электропечи с расположением вентилятора, в строенного в теплоизоляционную пробку к нижнему торцу муфеля, выступающего из шахты печи вниз. Это решение упрощает конструкции крышки и ее уплотнения, но связано с усложнением изготовления печи и эксплуатации вентилятора.



**РИС. 11 ШАХТНАЯ МУФЕЛЬНАЯ ЦЕМЕНТАЦИОННАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ: 1 - НАГРЕВАТЕЛИ; 2 - ВЕРХНЯЯ КОРЗИНА; 3 - МУФЕЛЬ; 4 - ЭКРАН; 5 —КРЫШКА МУФЕЛЯ; 6 - ВОДООХЛАЖДАЕМОЕ УПЛОТНЕНИЕ; 7 - КНОПКИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМОМ ПОДЪЕМА КРЫШКИ; 8 - КОЖУХ; 9 - ОПОРА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА КРЫШКИ; 10 - ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ВЕНТИЛЯТОРА; 11 - КЛАПАН СБРОСА ДАВЛЕНИЯ; 12 - ПОДВОД ВОДЫ К ВОДЯНОМУ ОХЛАЖДЕНИЮ УПЛОТНЕНИЯ; 13 -ВЕНТИЛЯТОР; 14 - ШТАНГА ПОДЪЕМА КОРЗИН; 15 - СЛИВ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ; 16 - ОПОРА САДКИ; 17 - ПАКЕТЫ МУЛЛИТОКРЕМНЕЗЕМИСТОГО ВОЛОКНА; 18 - ФОРМОВАННЫЕ ВОЛОКНИСТЫЕ ПЛИТЫ; 19 - НИЖНЯЯ КОРЗИНА**

В крышке муфеля печей типа СШЦМ установлены трубки для ввода контрольного термопреобразователя и выхода газа в свечу, а также клапаны сброса давления и подачи карбюризатора. Для применения жидкого карбюризатора предусмотрены бачок и капельница. На трубке свечи сгорания выходящего из муфеля газа имеется ниппель для отбора газа на анализ и присоединения мановакуумметра. Контроль протока воды в системе охлаждения фланца муфеля и подшипников вентилятора осуществляется автоматически с помощью реле проток» и визуально, для чего предусмотрена сливная воронка. Крышка муфеля поднимается и опускается с помощью механизма с электроприводом, поворот крышки в сторону - вручную.

Загружаемые в муфель корзины с деталями устанавливаются на специальную подставку в его донной части. Для загрузки и выгрузки корзин цеховые грузоподъемные механизмы должны быть оснащены канговыми захватами.

При работе с углерод со держащими атмосферами, в том числе с цементационными, необходимо строго соблюдать соответствующие правила техники безопасности. В частности, подача в муфель жидкого или газового карбюризатора может производиться при температуре в печи не ниже 750° С.

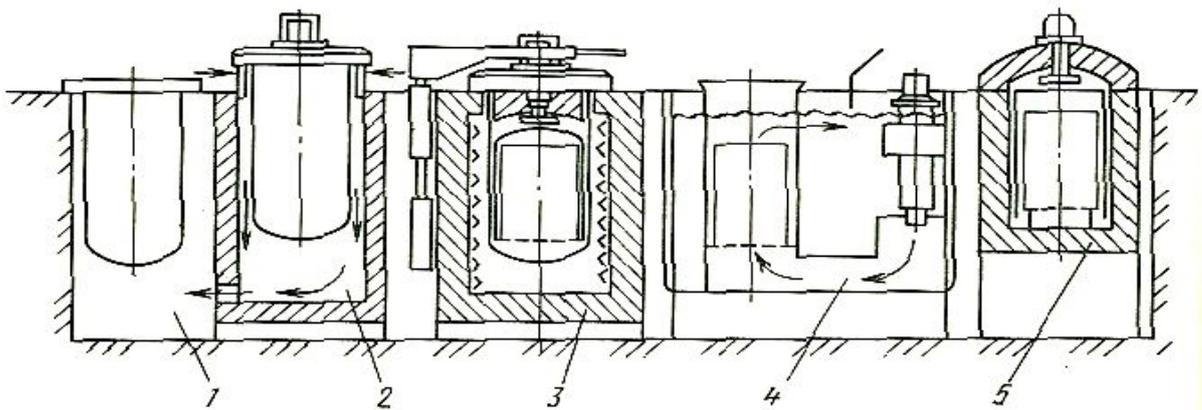
Печь перед загрузкой, как правило, разогревают при закрытом муфеле; после загрузки карбюризатор подается не ранее повторного достижения температуры в печи 750°С. Избыточное давление в муфеле поддерживается с помощью крана на патрубке свечи и контролируется по мановакуумметру, контроль расхода газового карбюризатора и добавок производится с помощью ротаметров, жидкого капельницей.

Состав атмосферы контролируется, например, по содержанию в ней CO<sub>2</sub>.

Удаление атмосферы из печи по окончании процесса производится выжиганием. При падении температуры ниже 750°С в печах серии предусмотрена световая и звуковая сигнализация. Атмосфера удаляется при этом продувкой негорючим газом - азотом, который подается в муфель в количестве, равном не менее 5-кратного объема муфеля.

Окончание продувки определяют по прекращению горения газа на свече. В других аварийных случаях, требующих остановки в работе печи, в частности при прекращении подачи карбюризатора, охлаждающей воды или электроэнергии, необходимо выжечь атмосферу, если температура в печи выше  $750^{\circ}\text{C}$ , или удалить ее продувкой. Применение в шахтных электропечах программируемых устройств на микропроцессорной элементной базе позволяет проведение технологических режимов по заданным температурно-временным графикам.

Некоторые изготовители выпускают муфельные электропечи без вентилятора на повышенные температуры; например фирма Borel предлагает такие печи на номинальную температуру  $1150^{\circ}\text{C}$ , которые могут быть использованы, в частности, для обработки в защитных атмосферах деталей из инструментальных сталей. Серия муфельных печей с циркуляцией атмосферы данной фирмы включает ряд типоразмеров с диаметром рабочего пространства от 330 до 1600 мм, высотой от 650 до 2500 мм. Фирма Degussa выпускает ряд типоразмеров цементационных электропечей на номинальную температуру  $1000^{\circ}\text{C}$  с диаметром рабочего пространства от 600 до 2500 мм и высотой от 800 до 2500 мм. Серия цементационных печей выпускается предприятием ZEZ с размерами рабочего пространства по диаметру от 450 до 850 мм, высотой от 800 до 2000 мм, номинальной мощностью от 60 до 145 кВт



**РИС. 12 СХЕМА АГРЕГАТИРОВАНИЯ ШАХТНОЙ МУФЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ ДЛЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ: 1 - ЗАГРУЗОЧНЫЙ СТЕНД; 2 - ОХЛАДИТЕЛЬНЫЙ КОЛОДЕЦ; 3 — ЭЛЕКТРОПЕЧЬ ДЛЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ; 4 - ЗАКАЛОЧНЫЙ БАК; 5 - ОТПУСКНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ**

Выполнение полного цикла операций химико-термической обработки с применением цементационных печей предполагает их комплексное агрегатирование с другими технологическими установками, предназначенными, в частности, для мойки, сушки деталей, охлаждения после нагрева, отпуска. Для перегрузки садки из одной установки в другую необходимо предусматривать наличие унифицированных сменных муфелей, а также специальные устройства типа переставного колокола для герметичного переноса загрузки из печи в закалочный бак. К примеру, в схематической компоновке участка для термообработки фирмы Borel предусмотрен в качестве элементов комплекса закалочный бак с подогревом и перемешиванием жидкости; колодец циркуляционного охлаждения, из которого нагретый воздух поступает в загрузочный стенд, подогревая сменный муфель с очередной загрузкой; отпускная печь.

## 9 ЭЛЕКТРОПЕЧИ С ВЫДВИЖНЫМ ПОДОМ И КОЛПАКОВЫЕ

---

Общепромышленные ЭПД эффективно используются в основном (единичном и мелкосерийном) производстве сравнительно крупных изделий, таких, как заготовки больших шестерен, валов, корпусов, рулонов металлической ленты и другие, позволяя гибко проводить технологическую обработку разнородных изделий. В условиях такого производства и связанных с ним требованиях (сравнительно большая масса единичных деталей, возможность компоновать крупные садки, так как основным процессом обычно является отжиг с длительной продолжительностью цикла, необходимость использования универсальных погрузочных средств ввиду разнородности изделий) наиболее рационально применение электропечей, в которых вся поверхность пода доступна для погрузочно-разгрузочных операций. К таким печам относятся горизонтальные прямоугольные электропечи, в которых камера неподвижна, а подина смонтирована на тележке, — печи с выдвижным подом и вертикальные печи с неподвижным подом (стендом) и переносной камерой (колпаком) — колпаковые электропечи.

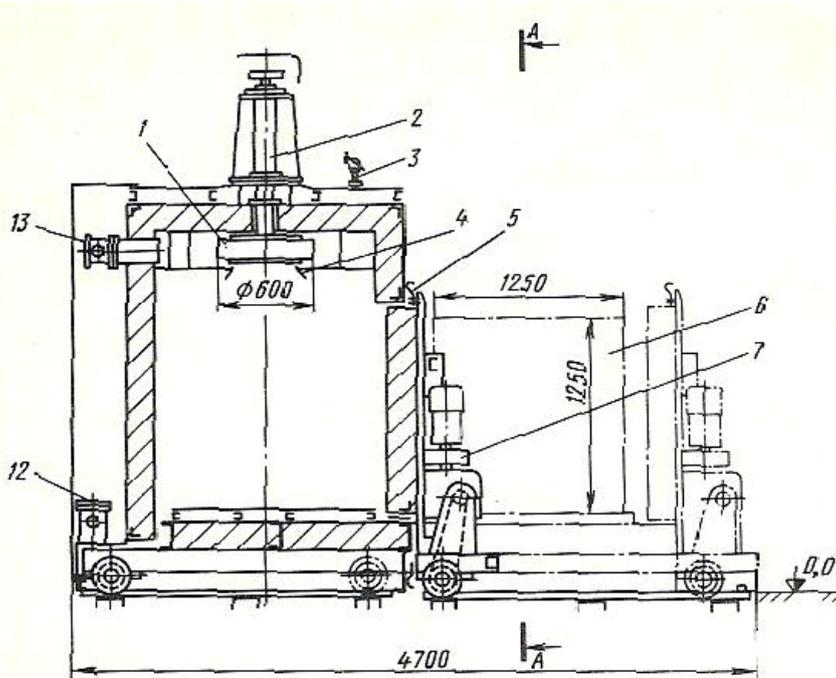
Ввиду удобства применения электропечей данных конструкций они используются в различных отраслях промышленности.

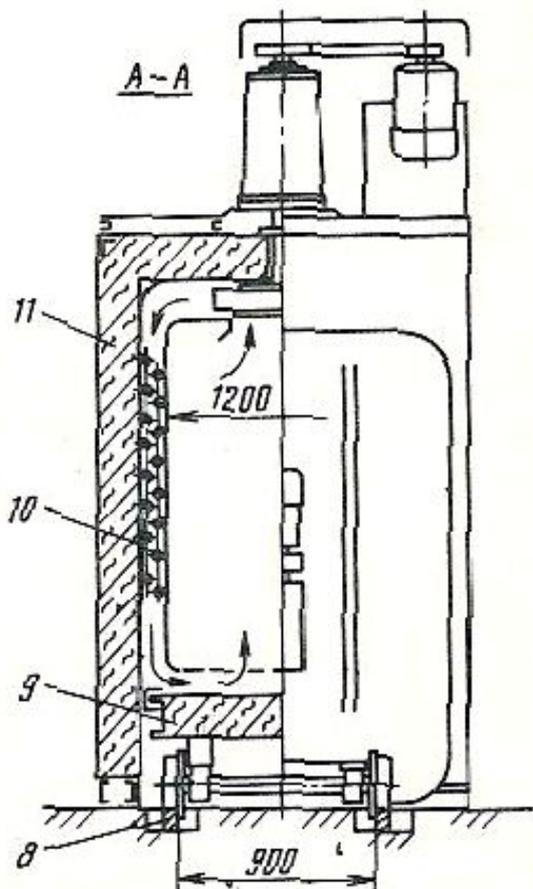
### 9.1 ЭЛЕКТРОПЕЧИ С ВЫДВИЖНЫМ ПОДОМ

Заводами электротермического оборудования нашей страны выпускается ряд типоразмеров печей с выдвижным подом на низкие рабочие температуры (от 250 до 700°C) и ряд установок на номинальные температуры 1000-1250°C,

Электропечи на номинальную температуру 350°C предназначены для сушки и низкотемпературной обработки. Выпускаются конструкции с размерами рабочего пространства 1000x1250x1250 и 1600x2500x1600 мм, номинальной мощностью соответственно 75 и 300 кВт, максимальной массой садки 400 и 2800 кг

Выдвижной под печей перемещается по рельсовому пути с помощью электропривода, смонтированного на раме пода. Выдвижной под несет на себе часть передней стенки - дверцу, закрывающую торцевой проем камеры. Характерная для низкотемпературных печей конструкция камеры представляет собой двойной кожух, в полости которого помещается теплоизоляция из минеральной ваты





**РИС. 13 НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ С ВЫДВИЖНЫМ ПОДОМ: 1 - ВЕНТИЛЯТОР; 2 - ПРИВОД ВЕНТИЛЯТОРА; 3 - ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕЧИ, 4 - НАПРАВЛЯЮЩИЕ; 5 - ГИБКОЕ ПРИЖИМНОЕ УПЛОТНЕНИЕ ПО ПЕРИМЕТРУ ДВЕРЦЫ; 6 - ЗАГРУЗКА, 7 - ПРИВОД МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ, 8 — РЕЛЬСОВЫЙ ПУТЬ, 9 — ТЕЛЕЖКА, 10 - ТРУБЧАТЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ, 11 - ВОЛОКНИСТАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ; 12 — ПОДСОС ВОЗДУХА, 13 — ВЫБРОС ВОЗДУХА**

Теплообмен в печах осуществляется за счет принудительной циркуляции воздуха; с помощью вентиляторов, расположенных в верхней части камеры, и направляющих экранов создается поток газа через нагреватели, установленные на боковых стенках, и затем через загрузку. В данных конструкциях применяются нагреватели в виде проволочных спиралей, в других низкотемпературных печах с выдвижным подом применяются трубчатые электронагреватели.

В печах на 250-350°C предусматривается регулирование воздухообмена с помощью заслонки, установленной на отводящем патрубке и управляемой вручную с целью регулирования количества выбрасываемой и подаваемого в камеру воздуха. При сушке органических веществ содержащих взрывоопасные летучие соединения,

необходимо за счет регулируемого воздухообмена тщательно поддерживать концентрацию этих соединений не выше пределов, указанных в технической документации электропечей.

Электропечи на номинальную температуру 700°C предназначены для термообработки стальных изделий, в частности отжига сварных конструкций, и изделия из алюминия и его сплавов. Разработанные печи представляют собой крупные установки с размерами рабочего пространства по ширине от 2,5 до 4,5 м длине от 6 до 10 м, высоте от 1,8 до 4,0 м В печах данного назначения эффективно применение футеровочных материалов из волокна. Боковые стенки и подвесной плоский свод выполнены из плит ШВП -350, в ненагруженных участках футеровки применены изделия из муллитокремнеземистого волокна, в теплоизоляционном слое - из минеральной ваты. Перемещаемые элементы пода, на которых устанавливается садка, составляют часть подовой конструкции, другая часть неподвижна, что позволяет дополнительно снизить тепловые потери печи за счет улучшения теплоизоляции пода.

Ряд печей на номинальную температуру 1250°C включает типоразмеры с шириной рабочего пространства 1,4 м и длиной от 2 до 3,6 м при высоте 1 м, установленной мощностью от 210 до 300 кВт, максимальной массой садки до 10 т Выдвижной под с передней стенкой - дверцей торцевого загрузочного проема печи - с помощью электромеханического привода перемещается по рельсовому пути, установленному на швеллерах, которые крепятся на фундаменте цеха. Зигзагообразные нагреватели из проволоки железохромо-алюминиевого сплава размещены на боковых стенках и своде камеры, на выкатном поду (в каналах футеровки под карборундовыми плитами, на которые устанавливается загрузка) и на дверце.

Питание нагревателей осуществляется через понижающие трансформаторы, нагреватели пода включаются посредством контактного разъемного устройства при установке выкатной тележки в рабочем положении.

В печах применяются традиционные футеровочные материалы - корундовый легковес в огнеупорном слое, шамотный легковес и

пендиатомит в теплоизоляционном, обеспечивающие работоспособность конструкции при резких теплосменах, связанных с характером работы печи. Применение высокотемпературных материалов с малой плотностью позволяет уменьшить тепловые потери, в частности, вследствие того, что при открывании печи быстро снижается температура поверхности стен из таких материалов, что, в свою очередь, улучшает условия обслуживания печей.

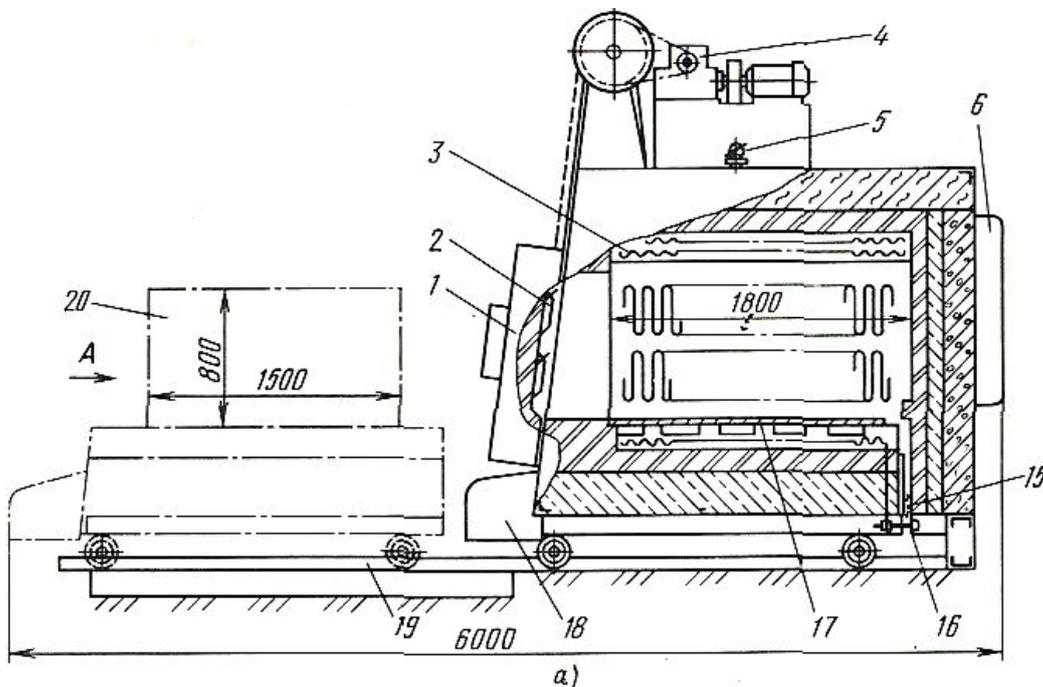
Значительные трудности в печах данного типа представляет решение конструкции уплотнения подвижного пода и дверцы. В печах рассматриваемого ряда уплотнение пода осуществляется посредством песочного затвора, канал которого устроен на тележке, а нож - на кожухе камеры; последний входит в затвор при закатывании тележки. Между дверцей и торцом передней стенки камеры предусмотрено асбестовое уплотнение. Кроме того, на всех стыках стен камеры и выдвижного пода по периметру тележки и дверцы предусмотрены затворы лабиринтного типа, которые создаются входящими друг в друга уступами и выступами, выполненными из футеровочных изделий..

Ввиду конструктивных сложностей обеспечения высокой герметичности электропечи с выдвижным подом предназначаются для работы с атмосферой воздуха в печи.

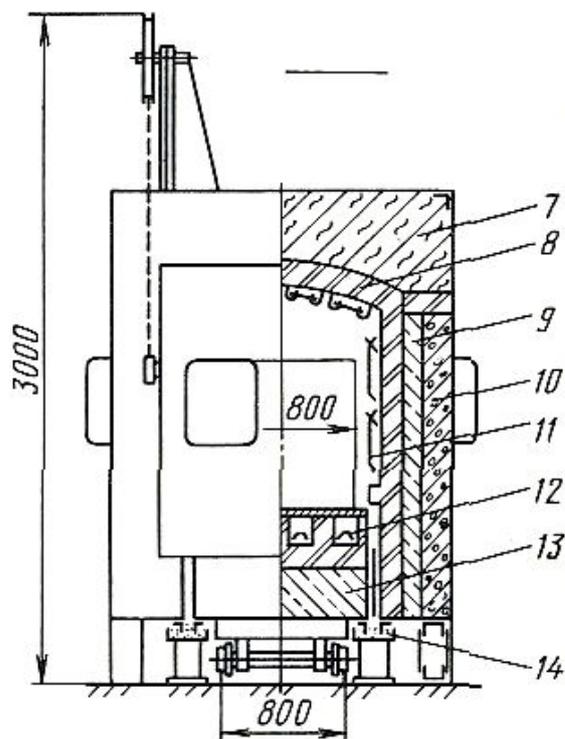
Выпускаются также более крупные типоразмеры электропечей на данную температуру - с рабочим пространством шириной от 2,5 до 3 м, длиной от 4 до 7 м, высотой от 1,5 до 3 м; основное назначение печей - термообработка крупногабаритных деталей, сварных конструкций, литья. Наряду с этими конструкциями разрабатываются сравнительно небольшие печи широкого назначения, как и камерные электропечи, например, электропечь с размерами рабочего пространства 800x1500x800 мм на номинальную температуру 1200°C. В печи предусмотрена открытая со всех сторон выкатная тележка, перемещающаяся по рельсам с помощью электропривода; дверца загрузочного проема смонтирована на передней стенке печи, при открывании поднимается вверх аналогично конструкции камерных электропечей крупных типоразмеров.

Серию сравнительно малогабаритных электропечей с выдвигаемым подом широкого назначения выпускает фирма Naber. Печи имеют размеры рабочего пространства от 800x1600x800 до 1000x3600x1400 мм, выпускаются для трех уровней номинальной температуры 900, 1260 и 1340°C, с диапазоном мощности печей соответственно 36-126, 51 - 168 и 69-220 кВт.

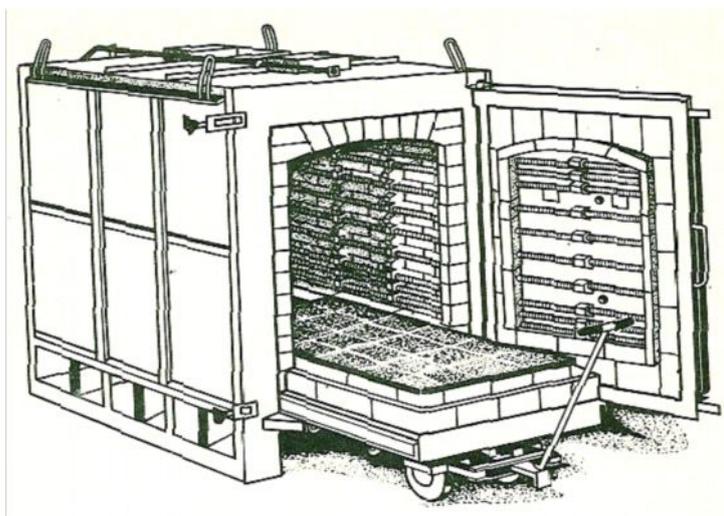
Выкатная тележка в этих печах - открытая со всех сторон, дверца торцевого проема установлена на передней стенке печи. В печах, используемых для процессов, позволяющих раскрывать печь при температуре не выше 500°C, дверца открывается с поворотом в сторону, конструктивно аналогично камерным печам фирмы. Печи снабжаются тележками, для которых не требуется рельсовый путь, они предназначены для перемещения по полу цеха. Может поставляться несколько тележек к печи, что позволяет независимо от цикла процессии производить операции загрузки и выгрузки, устанавливая подготовленную тележку с садкой в печь сразу после предыдущего нагрева.



Вид А



**РИС. 14 ЭЛЕКТРОПЕЧЬ С ВЫДВИЖНЫМ ПОДОМ НА НОМИНАЛЬНУЮ ТЕМПЕРАТУРУ 1200°С: 1-ДВЕРЦА, 2-НАГРЕВАТЕЛИ ДВЕРЦЫ, 3 - СВОДОВЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ, 4 - ПРИВОД МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ДВЕРЦЫ, 5 – ВВОД ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ, 6 - КОЖУХ ВЫВОДОВ НАГРЕВАТЕЛЕЙ, 7 - МУЛЛИТОКРЕМНЕЗЕМИСТОЕ ВОЛОКНО, 8 - ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫЙ ЛЕГКОВЕСНЫЙ КИРПИЧ, 9 - ШАМОТНЫЙ ЛЕГКОВЕСНЫЙ КИРПИЧ, 10 - ПЕНОДИАТОМИТОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ, 11 - БОКОВЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ, 12 – ПОДОВЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ, 13 - ВЫДВИЖНАЯ ТЕЛЕЖКА, 14 – ПЕСОЧНЫЙ ЗАТВОР, 15 – ПРИЖИМНОЕ МЯГКОЕ УПЛОТНЕНИЕ, 16 - ПОДВИЖНЫЙ РАЗЪЕМ ПИТАНИЯ ПОДОВЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ, 17 - ПОДОВЫЕ ПЛИТЫ, 18 - МЕХАНИЗМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ, 19 - РЕЛЬСОВЫЙ ПУТЬ, 20 - ЗАГРУЗКА**



**РИС. 4.3. ОБЩИЙ ВИД ЭЛЕКТРОПЕЧИ НА 1260°С С ВЫДВИЖНЫМ ПОДОМ**

Печи для процессов, при которых выгрузка может производиться при высокой температуре в печи, имеют дверцу с механизированным ручным подъемом вверх и тележку, перемещающуюся по рельсовому пути; рельсы укладываются на полу цеха без специальной фундамента. Горячая поверхность поднятой вверх дверцы защищена установленным здесь экраном из теплоизоляционного материала. Уплотнение тележки на стыках с камерой осуществляется за счет лабиринтного затвора, создаваемого выступами футеровки и металлоконструкции. Устройство нагревателей и футеровки унифицировано с камерными печами фирмы; нагреватели размещены на боковых стенках, на дверце и в каналах пода тележки, на котором уложены карбидокремниевые плиты.

## 9.2 КЛПАКОВЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

---

Большинство конструкций этого вида общепромышленных ЭПД предназначено для термообработки стали и цветных металлов в виде ленты в рулонах и проволоки, прутков, труб в бунтах. Получение высокого качества обработки здесь особенно связано с обеспечением равномерности температуры при нагреве данных изделий, имеющих значительную анизотропию теплопроводности.

Конструкция цилиндрической колпаковой муфельной печи, рассчитанной на садку в виде стопы рулонов или бунтов, позволяет организовать эффективную направленную циркуляцию газа защитной атмосферы внутри муфеля с интенсивным и равномерным обдувом садки. Это обеспечивает выравнивание температуры по толщине рулонов (бунтов) в ходе нагрева и охлаждения с получением однородности свойств обрабатываемого материала при достаточно высокой для процессов со сравнительно низкими рабочими температурами производительности установок.

В нашей стране выпускается несколько типоразмеров колпаковых электропечей, в том числе с диаметром и высотой рабочего пространства, равными 1600 мм, на номинальную температуру 700°C, а также с диаметрами 1000 и 1600 мм и высотой соответственно 1600 и 2500 мм на температуру 1000°C. Печи поставляются в составе одного колпака и двух стенов (оснований печи) и муфельей. Сокращение

количества стенов до двух при одном нагревательном колпаке связано с применением системы ускоренного охлаждения садки, которое осуществляется циркуляцией газа под муфелем после снятия колпака по завершении нагрева.

Футерованный стенд электропечей имеет опоры для установки загрузки, но оси стенов расположены центробежные вентиляторы. Рабочее колесо вентилятора диаметром 500 - 600 мм установлено в направляющих, выполненных из листовой жаропрочной стали. В стенде имеются патрубки для подвода и отвода защитного газа - азота с добавкой водорода (до 4%), трубы для частичного отвода циркулирующего внутри муфеля газа в систему его охлаждения, скомпонованную в приемке под печь. Система включает трубчатый холодильник, через который прокачивается газ. Регулирование расхода отводимого газа осуществляется изменением с помощью ручного привода положения направляющих или дроссельной заслонки.

С помощью вентилятора и направляющих газ проходит по периферии внутри муфельного пространства, омывает муфель, обогреваемый нагревателями колпака или охлаждающийся после снятия колпака, и затем проходит через загрузку. Эффективное распределение газового потока в садке обеспечивается за счет зазоров, которые создаются установкой между рулонами прокладок - конвекторных колец или брусков; обрабатываемые бунты устанавливаются на приспособлениях, позволяющих иметь равномерный обдув загрузки. Заполнение рабочего пространства печи и всего газового тракта защитным газом производится путем холодной продувки перед началом процесса нагрева.

Нижний край герметичного, сваренного из листовой жаропрочной стали муфеля входит в песочный затвор, расположенный на стенде; этот же затвор служит и для уплотнения колпака, на нижнем торце которого имеется нож.

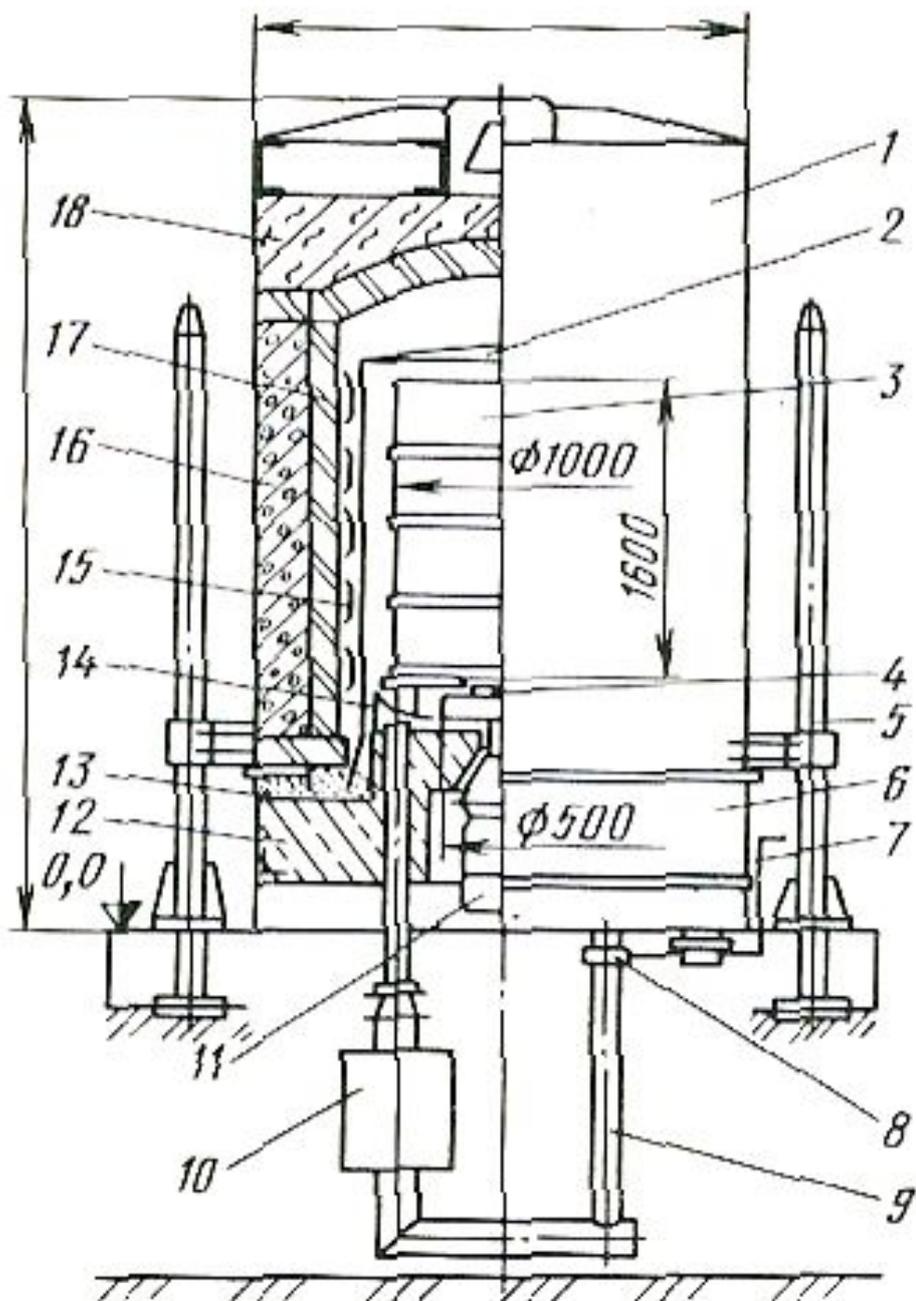
К футеровке колпака предъявляются требования повышенной прочности в связи с его периодическим переносом. Нагреватели в данных печах размещаются лишь на боковой стенке с учетом условия теплопередачи в печи.

. Для надежного крепления нагревателей проволочных зигзагов с установкой на штырях - огнеупорный слой стенки, а также сферического свода печи выполнены из легковесного шамотного кирпича. В модернизированных конструкциях печей предусмотрено выполнение свода из формованных волокнистых изделий, а также применение волокнистых футеровочных материалов в стенде, что обеспечивает сокращение продолжительности нагрева и охлаждения.

В электропечах фирмы Ebner (Австрия) для отжига цветных металлов, в частности латуни, используется защитная атмосфера с содержанием водорода до 25%; применяется вакуумная откачка рабочего пространства и газового тракта до и после окончания процесса, что способствует более полному газообмену внутри бунтов, в частности бунтов труб, по обходу несколько дороже, чем продувка азотом.

Воздушно-водяное охлаждение садки производится под специальным комбинированным колпаком; за счет охлаждения воздушным потоком температура муфеля снижается до 200°C, после чего вступает в действие охлаждение его водяным потоком. Продолжительность остывания стальных рулонов примерно до 160°C в центре садки при этом короче времени отжига при температуре (700-750) ± 10°C, что позволяет иметь в среднем менее двух стендов для одного колпака.

Футеровка стенда заключена в цельнометаллический кожух; муфель, как и фланец двигателя вентилятора, имеет резиновое уплотнение. Это позволяет достигать высокой чистоты атмосферы и в результате избегать обезуглероживания или появления сажи на поверхности обрабатываемого металла. Применение атмосфер с повышенным содержанием водорода (до 100%) увеличило интенсивность теплопередачи при нагреве и охлаждении рулонов стальной ленты примерно на 25% и улучшило равномерность распределения температуры, которая может достигать в этих печах ±5°C.



**РИС. 15 . КОЛПАКОВАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ НА НОМИНАЛЬНУЮ ТЕМПЕРАТУРУ 1000°С: 1- КОЛПАК; 2 - МУФЕЛЬ; 3 - ЗАГРУЗКА; 4 - ВЕНТИЛЯТОР; 5 - СТОЙКА; 6 - СТЕНД; 7 - ПРИВОД РУЧНОГО МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА ДРОССЕЛЬНОЙ ЗАСЛОНКИ; 8 - ДРОССЕЛЬНАЯ ЗАСЛОНКА; 9 - СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ГАЗА; 10 - ХОЛОДИЛЬНИК; 12 ФУТЕРОВКА СТЕНДА; 13 - ПЕСОЧНЫЙ ЗАТВОР; 14 - НАПРАВЛЯЮЩАЯ ГАЗОВОГО ПОТОКА; 15 - НАГРЕВАТЕЛИ; 16 - ПЕНОДИАТОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ; 17 - ШАМОТНОЛЕГКОВЕСНЫЕ ИЗДЕЛИЯ; 18 - МУЛЛИТОКРЕМНЕЗЕМИСТОЕ ВОЛОКНО**

Введение водорода перед нагревом производится после продувки азотом, удаление его после окончания процесса путем продувки также азотом. Муфель в водородных печах прижимается гидравлическими

устройствами; герметичность уплотнения, давление газа в печи контролируются автоматически.

Фирма Ebner выпускает ряд типоразмеров колпаковых печей с интенсивной циркуляцией атмосферы, имеющих размеры рабочего пространства: диаметр от 1000 до 4000 мм, высота от 1600 до 5000 мм.

## 10 ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ПЕЧЕЙ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ (ЭПНД)

---

В ЭПНД изделия загружаются в печь и, непрерывно или периодически перемещаясь по длине электропечи, нагреваются и выходят с другого конца нагретыми до определенной температуры. Температуры различных точек рабочего пространства в ЭПНД могут быть различными или одинаковыми, однако они не изменяются во времени.

Электропечи сопротивления непрерывного действия целесообразно применять в тех случаях, когда имеется установившийся технологический процесс термообработки и требуется провести термообработку большого количества идентичных изделий, т.е. в массовых и крупносерийных производствах. Методические печи должны быть снабжены тем или иным приспособлением для перемещения деталей. Эти печи сложнее печей периодического действия, но зато имеют значительно большую производительность при тех же габаритах и обеспечивают идентичность режима термообработки.

Эти ЭПНД могут входить в состав единого, полностью механизированного агрегата. Например, объединяют закалочную и отпускную ЭПНД вместе с закалочным баком, моечной машиной, сушильной ЭПНД. В таком агрегате изделие вначале нагревается в закалочной ЭПНД, затем поступает в закалочный бак, откуда попадает в моечную машину, где смывается закалочная жидкость (масло), высушивается в сушильной ЭПНД и попадает в отпускную ЭПНД.

Входящие в агрегат установки должны иметь одинаковую производительность, так как производительность агрегата в целом определяется той входящей в его состав установкой, которая имеет самую малую производительность.

Такие автоматизированные агрегаты могут входить в состав поточных и автоматических линий.

Электродпечь непрерывного действия, как правило, имеет несколько тепловых зон с самостоятельным регулированием температуры, что дает возможность создавать различные температурные режимы. Длина зоны обычно равна 1,5 - 2 м, а в тех случаях, когда не требуется обеспечивать заданный график нагрева, длина зоны может быть увеличена до 2,5 - 3 м, и наоборот, когда необходимо точно выдержать заданную кривую нагрева изделий, длину зоны следует уменьшить до 0,8 - 1,2 м.

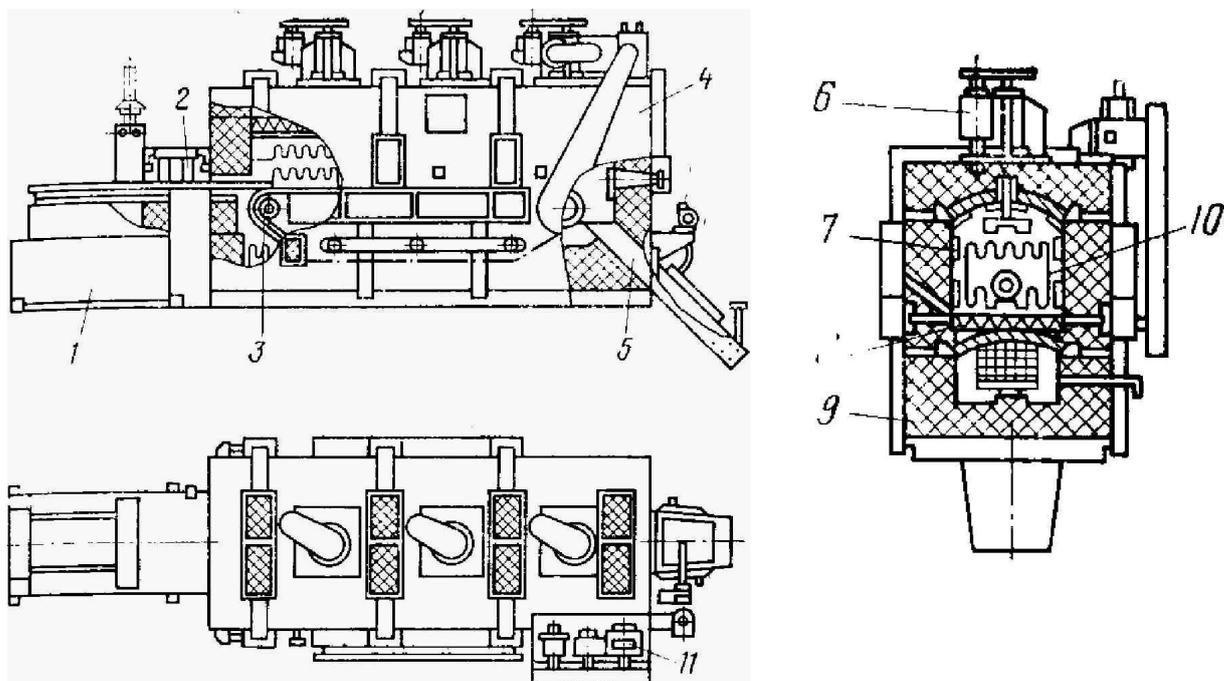
В случае необходимости ЭПД непрерывного действия могут комплектоваться камерами охлаждения. Эти печи могут работать с контролируемыми атмосферами. При этом с загрузочной и разгрузочной сторон устанавливаются так называемые шлюзовые камеры или со стороны разгрузки устанавливается специальный разгрузочный лоток, входящий в рабочую среду закалочного бака, тем самым образуя гидравлический затвор.

Электродпечь непрерывного действия с рабочей температурой до 700°С часто оборудуют вентиляторами. Нагреватели в электродпечах устанавливают на своде, поду и боковых (реже торцевых) стенках. В основном конструкции ЭПД непрерывного действия определяются механизмом перемещения изделий по электродпечи.

### 10.1 КОНВЕЙЕРНЫЕ ЭПД

---

Конвейерные электродпечи являются наиболее распространенным типом ЭПД. Они применяются в основном для термообработки мелких и средних по габаритам и массе изделий крупносерийного и массового производства, например колец подшипников.



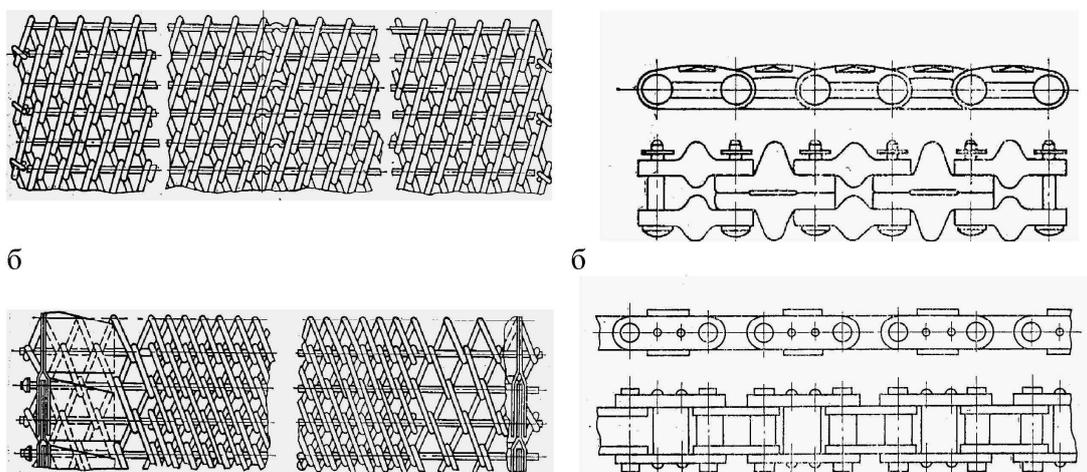
**РИС. 16 ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ КОНВЕЙЕРНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ С РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ 700°С: 1 - ЗАГРУЗОЧНОЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЕ; 2 - ФОРКАМЕРА СО ШТОРКАМИ; 3 - КОНВЕЙЕРНАЯ ЛЕНТА; 4 - КОЖУХ; 5 - ЛОТОК; 6 - ВЕНТИЛЯТОР; 7 - БОКОВЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ; 8 - ПОДОВЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ; 9 - ФУТЕРОВКА; 10 - ТОРЦОВЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ; 11 - ПРИВОД КОНВЕЙЕРА**

Для перемещения изделий внутри рабочего пространства ЭПНД применяется конвейер, натянутый между двумя валами, один из которых является ведущим, а другой - ведомым. Для вращения ведущего вала применяется электропривод.

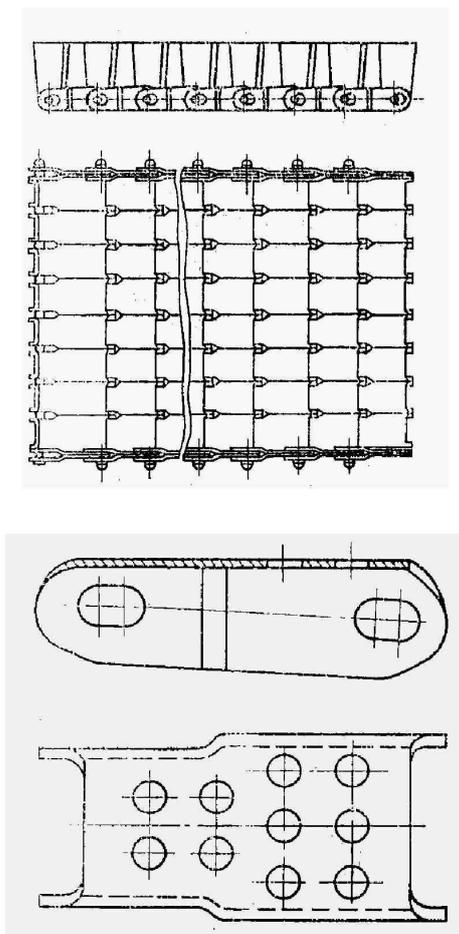
В ЭПНД с температурой 350°С, предназначенных чаще всего для низкотемпературного отпуска, конвейерная лента выполняется из штампованных звеньев и опирается на неприводные ролики. Через камеры нагрева и охлаждения проходит один и тот же конвейер. В конвейерных ЭПНД с температурами 700 и 900°С, предназначенных для высокотемпературного отпуска и закалки, конвейерная лента выполняется из литых звеньев и поддерживается в печах длиной до 4 м опорными балками, а в ЭПНД большей длины - приводным рольгангом. В ряде конвейерных ЭПНД применяется сетчатый конвейер, выполненный из жаропрочных хромоникелевых сплавов.

Конвейер может быть полностью, вместе с обоими валами, расположен в камере ЭПНД. Недостатками в этом случае являются тяжелые условия работы обоих валов конвейера, находящихся в зоне высоких температур, неудобство ремонта из-за плохой доступности, а

также трудность загрузки изделий на горячий конвейер. Кроме того, в подобных конструкциях, как правило, валы охлаждаются водой, что приводит к значительным тепловым потерям.



**РИС. 17 КОНВЕЙЕРНЫЕ ЦЕПИ: А – ДЛЯ ПОДВИЖНОЙ ОПОРЫ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ; Б – ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КРУПНЫХ ИЗДЕЛИЙ ТИПА СЛЯБОВ**



**РИС. 18 . ЛЕНТЫ ПАНЦИРНЫЕ: А – С ЛИТЫМИ ЗВЕНЬЯМИ; Б – СО ШТАМПОВАННЫМИ ЗВЕНЬЯМИ**

Указанные недостатки отсутствуют в случае выноса валов конвейера и его нижней ветви из зоны высоких температур, т. е. вынос концов конвейера за пределы футеровки. Недостатком подобных конструкций является то, что теплота, идущая на нагрев конвейера, полностью теряется после выхода его части из горячей зоны. Эти потери значительно больше потерь с охлаждающей водой у ЭПНД с конвейером, расположенным в печи.

Несмотря на то, что конвейер изготавливают из специальных жаропрочных сталей, обладающих высоким сопротивлением ползучести (крипоустойчивость), работающий при высоких температурах конвейер может сильно вытягиваться. Для борьбы с этим применяют натяжные станции, которые располагают у загрузочного конца ЭПНД, если ведущий вал и привод конвейера расположены у разгрузочного конца.

Конвейерные ЭПНД применяют в основном до температур 900°C, хотя имеются ЭПНД, работающие при 1150°C. При работе конвейерных ЭПНД с контролируемой атмосферой они комплектуются охладительными устройствами или закалочным баком.

Камеры охлаждения в конвейерных ЭПНД могут быть с водоохлаждаемыми стенками, с вентиляторами, с душированием изделий (в случае работы ЭПНД без контролируемых атмосфер), с футерованными стенками (с нагревателями или без них); камеры охлаждения набирают отдельными секциями, количество их определяется в зависимости от технологических требований.

Отечественной промышленностью производятся серии конвейерных электропечей на температуры 350, 700, 900 и 1150°C с шириной конвейера от 60 до 2000 мм и длиной от 1 до 10 м.

Имеются также конструкции вертикальных конвейерных электропечей. Эти ЭПНД занимают меньшую площадь цеха, но имеют ряд недостатков, заключающихся в неравномерности температур по высоте печи и необходимости устройств для надежного закрепления изделий, утяжеляющих конвейер. Вертикальные конвейерные ЭПНД могут применяться для нагрева однотипных изделий, удобных для

расположения на вертикальном конвейере. Максимальная рабочая температура не превышает 600°C. Эти ЭПНД не нашли широкого применения и не производятся серийно.

Широкое применение для обжига эмалированных изделий, сушки после окраски и ряда других технологических процессов, не требующих контролируемых атмосфер, нашли электропечи с подвесным конвейером.

Конвейер в этих ЭПНД состоит из тяговых разборных цепей и кареток. Эти ЭПНД легко встраиваются в поточные линии. При подвесном конвейере сравнительно несложно организовать любой путь конвейера вне ЭПНД. Движение конвейера может быть непрерывным или периодическим. Для уменьшения тепловых потерь через загрузочный и разгрузочный проемы при непрерывном движении конвейера устанавливаются аэродинамические завесы, а при периодическом движении - дверцы.

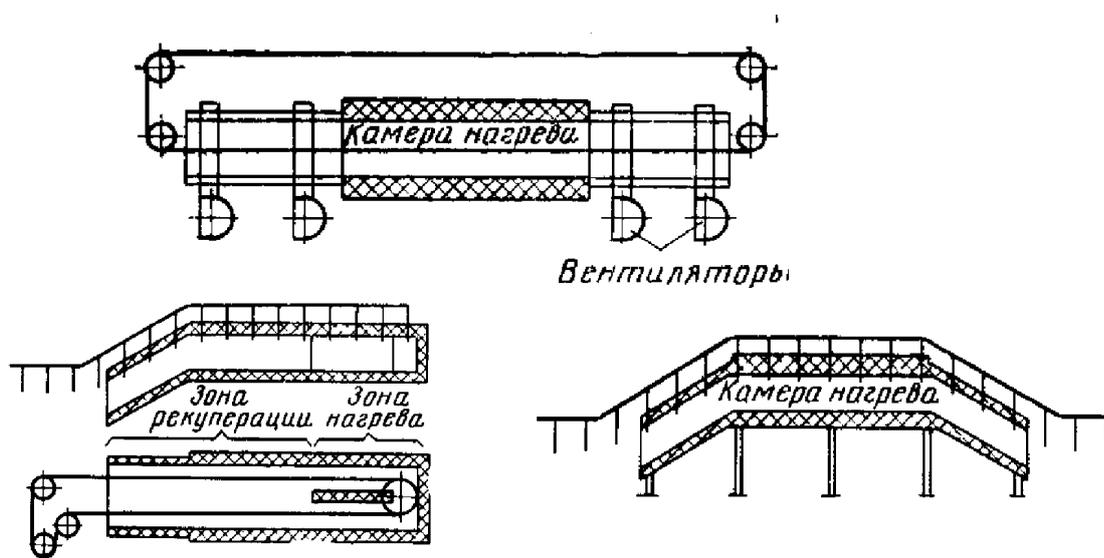
При сушке с выделением взрывоопасных летучих веществ нагрев изделий в этих ЭПНД производится горячим воздухом, который нагревается в выносном электрокалорифере.

Возможные схемы ЭПНД с подвесным конвейером приведены на рис. 19.

При расположении загрузочного и разгрузочного проемов на одном уровне с рабочим пространством во многих случаях применяют тепловые (или огневые) завесы.

Печи по схемам 20 не требуют устройства тепловых завес из-за статического подпора, так как проемы печей находятся ниже уровня пода камеры нагрева.

а



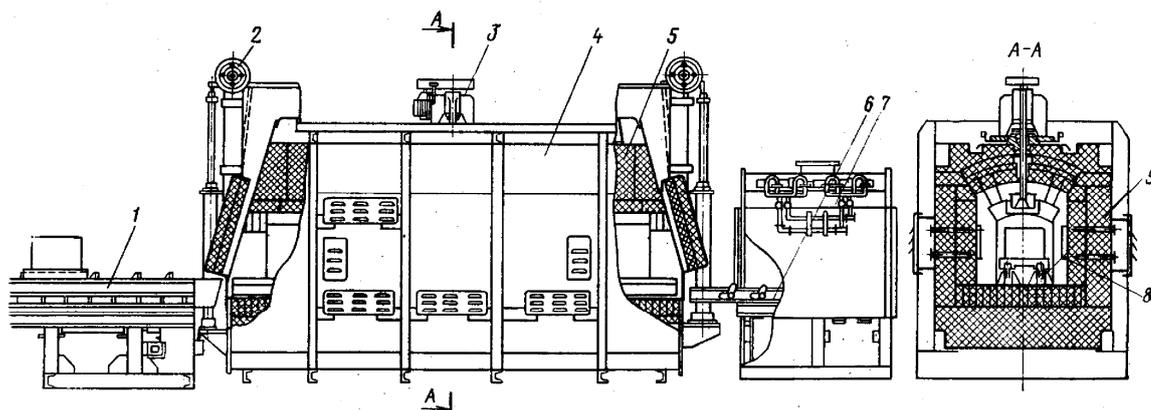
**РИС. 19. СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ С ПОДВЕСНЫМ КОНВЕЙЕРОМ**

Конвейерные печи отечественная промышленность выпускает на температуры 300, 700 и 1000°С мощностью более 1000 кВт.

## 10.2 ТОЛКАТЕЛЬНЫЕ ЭПНД

Для нагрева и мелких, и крупных изделий до 1150°С могут быть использованы толкательные электропечи (рис20) На поду этих ЭПНД установлены жароупорные направляющие в виде труб, рельсов или роликового пода, вдоль которых перемещаются поддоны с нагреваемыми изделиями. Расположенный на загрузочном торце печи толкатель вдвигает в электропечь с загрузочного стола очередной поддон с изделиями, и так как поддоны расположены вплотную друг к другу, то приходят в движение все ранее загруженные в печь поддоны.

После подхода к разгрузочному концу ЭПНД поддон либо сам скатывается по наклонному рольгангу, либо захватывается таскателем и направляется им на разгрузочный стол.



**РИС. 20 ТОЛКАТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ С КАМЕРОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ: 1 – ТОЛКАТЕЛЬ; 2 – ДВЕРЦА С МЕХАНИЗМОМ ПОДЪЕМА; 3 – ВЕНТИЛЯТОР; 4 – КОЖУХ; 5 – ФУТЕРОВКА; 6 – ТАСКАТЕЛЬ; 7 – КАМЕРА ОХЛАЖДЕНИЯ; 8 – НАГРЕВАТЕЛИ; 9 – РЕЛЬСОВЫЙ ПУТЬ**

Основными преимуществами толкательных ЭПНД являются достаточно хорошая герметичность, относительная простота, отсутствие транспортирующих механизмов в зоне высоких температур.

Недостатком этих ЭПНД является наличие массивных поддонов, что ограничивает длину электропечей до 10 - 12 м из-за невозможности перемещения поезда поддонов большей длины. Кроме того, на нагрев поддонов затрачивается до 25 % полезной теплоты. Определенная трудность имеется также в возврате поддонов от разгрузочного конца ЭПНД к загрузочному. Стойкость поддонов также невелика - она исчисляется несколькими месяцами, и стоимость поддонов существенно удорожает себестоимость термообработки. В ряде случаев при нагреве крупных изделий правильной формы удастся укладывать изделия вплотную, непосредственно на направляющие и тем самым обойтись без поддонов; при этом исключаются недостатки, имеющиеся в ЭПНД с использованием поддонов.

В большинстве современных толкательных ЭПНД загрузку и выгрузку поддонов, а также открывание дверец производят с помощью гидравлических приводов, хотя и возможно применение электромеханического привода.

Герметизацию загрузочного торца ЭПНД обеспечивает специальная загрузочная камера, оборудованная подъемным колпаком, в который поддоны подают снизу загрузочным столом, боковой

заслонкой с эксцентриковыми зажимами или специальным загрузочным механизмом и пламенной завесой, включаемой в момент загрузки.

В связи с тем, что толкательные ЭПНД легко могут быть герметизированы, они нашли широкое применение для цементации стальных изделий.

Используются муфельные и безмуфельные толкательные ЭПНД. Безмуфельные ЭПНД бывают с закрытыми и открытыми нагревателями.

Наличие муфеля и связанный с этим повышенный расход дорогостоящих дефицитных никельсодержащих жароупорных сталей являются недостатками муфельных толкательных печей, кроме того, эти ЭПНД не могут иметь температуру выше 950°C. Эти же недостатки имеют безмуфельные ЭПНД с закрытыми нагревателями.

Однако и те, и другие печи обладают достоинствами, заключающимися в большей надежности нагревателей, а также в возможности быстрой замены нагревателей без охлаждения ЭПНД.

Безмуфельные ЭПНД с открытыми нагревателями могут иметь температуру до 1050°C, что может значительно повысить их производительность. Однако осаждение сажи на футеровке и нагревателях резко сокращает срок службы нагревателей, в связи с чем подобные ЭПНД не получили широкого применения.

На основе толкательных ЭПНД могут быть созданы агрегаты, в которых можно проводить ряд последовательных термических и химико-термических процессов. Толкатели этих ЭПНД приспособлены для передачи поддонов изделиями на толкатель последующей ЭПНД.

В России и странах СНГ созданы серии толкательных электропечей для работы с воздушной атмосферой на температуры 350, 750, 900 и 1000°C, а также серия толкательных ЭПНД для цементации при 950°C.

### 10.3 РОЛЬГАНГОВЫЕ ЭПНД

---

Рольганговые электропечи, передвижение изделий в которых осуществляется рольганговым подом (Рис. 21), являются наиболее универсальными среди ЭПНД непрерывного действия. В рольганговых

печах могут быть обработаны изделия, разнообразные по форме и массе. Увеличение длины электропечи не сказывается на надежности ее работы. Для перемещения по электропечи изделия загружаются непосредственно на рольганг или в специальные жароупорные поддоны, которые помещаются на рольганг. Рольганговые ЭПНД могут комплектоваться загрузочным столом или загрузочным механизмом, камерой загрузки, камерой охлаждения, закалочным баком, разгрузочным столом или разгрузочным механизмом, разгрузочной камерой, кантователем, транспортером возврата поддонов.

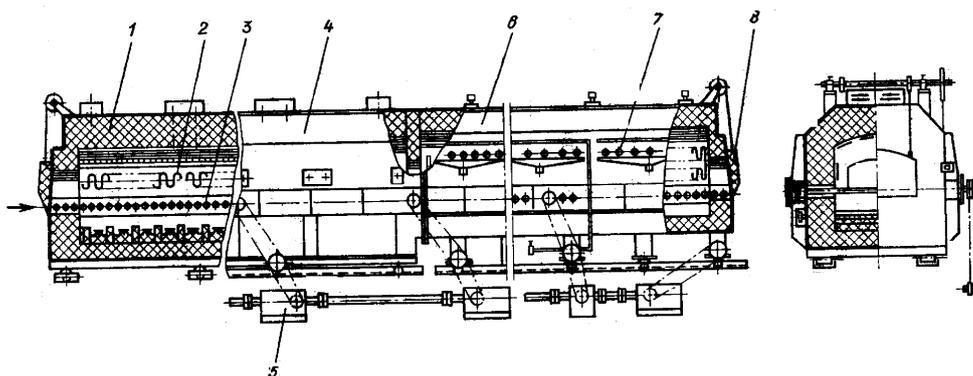
Электропечи с небольшой высотой рабочего пространства для возможности проведения ремонта имеют съемные своды. При использовании рольганговых ЭПНД для работы с контролируемыми атмосферами ролики должны быть герметичными, в случае необходимости они охлаждаются водой. Движение роликов, как правило, осуществляется общим наружным приводом.

Эти ЭПНД также входят в состав закально-отпускных агрегатов.

В России и странах СНГ серийно выпускаются рольганговые электропечи с номинальными температурами 350, 750, 1000 и 1200°C, мощностью от 60 до 1000 кВт, шириной рабочего пространства от 400 до 4500 мм, длиной до 80 м, но возможна и большая длина, кратная 2 м (2 м - длина унифицированной секции).

В карусельных электропечах транспортирующим узлом служит под, выполненный в виде кольца. Под вращается, перемещая изделия в печном пространстве.

Карусельные ЭПНД используются для низкотемпературного отпуска (до 250°C) стальных изделий, для закалки (до 850°C) мелких стальных изделий, для нагрева под закалку перед штамповкой (до 1150°C) и для нагрева (до 1250°C) под прокатку в металлургии. Эти ЭПНД возможно применять на температуры до 1300°C при значительных массах загрузки благодаря тому, что механизмы находятся вне зоны высоких температур. Подина, так же как и рабочая камера может быть керамической и практически не иметь металлических деталей, ограничивающих температуру применения.



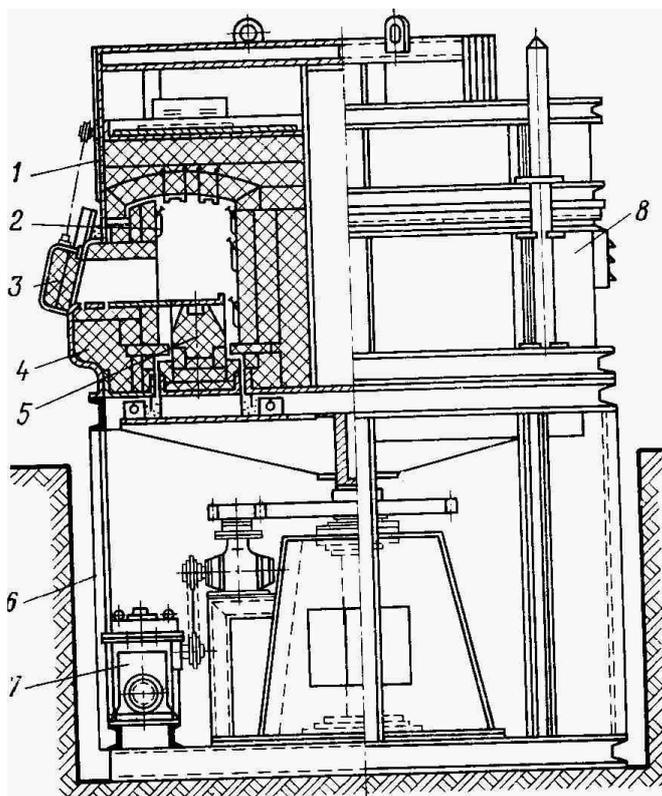
**РИС. 21 РОЛЬГАНГОВАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ: 1 – ФУТЕРОВКА; 2 – НАГРЕВАТЕЛЬ; 3 – РОЛЬГАНГ; 4 – КОЖУХ; 5 – ПРИВОД РОЛЬГАНГА; 6 – КАМЕРА ОХЛАЖДЕНИЯ; 7 – СИСТЕМА ВОДООХЛАЖДЕНИЯ; 8 – ДВЕРЦА**

#### 10.4 КАРУСЕЛЬНЫЕ ЭПНД

Карусельных ЭПНД можно нагревать изделия сложной конфигурации без поддонов, что не всегда возможно в других печах непрерывного действия.

Карусельные ЭПНД сравнительно легко могут быть приспособлены для работы с защитной атмосферой. В этом случае оконные проемы оборудуются пламенными завесами и шторками. Недостатком этого вида ЭПНД являются определенные трудности, связанные с механизацией загрузки и выгрузки обрабатываемых изделий, так как загрузочный и разгрузочный проемы находятся рядом. По этой же причине эти ЭПНД неудобно использовать в поточных линиях.

Карусельные ЭПНД для сравнительно низких температур имеют под, выполненный в виде металлоконструкции, расположенной внутри печного пространства.



**РИС. 22 КАРУСЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ: 1 - СЪЕМНЫЙ СВОД; 2 - НАГРЕВАТЕЛИ; 3 - ДВЕРЦА; 4 - ФУТЕРОВКА; 5 - ВРАЩАЮЩИЙСЯ ПОД; 6 - РАМА; 7 - ПРИВОД МЕХАНИЗМА; 8 - КОЖУХ**

Для легких загрузок под имеет одну опору, вал которой выводится из печного пространства и приводится во вращение приводом, как правило, с применением системы зубчатых передач.

В ЭПНД для закалки мелких изделий вращающийся под выполняется с ковшами. Одна сторона ковша прикрепляется на шарнире к вращающейся конструкции пода, другая скользит по кольцеобразной неподвижной направляющей. Против разгрузочного лотка ЭПНД неподвижная направляющая обрывается, и ковш опрокидывается, а изделия, находящиеся в нем, высыпаются в закалочный бак. При более высоких температурах и тяжелых загрузках внутри печного пространства располагается огнеупорная часть пода, а его металлоконструкция выносится из зоны высоких температур; опорой пода служат ролики. Обрабатываемые изделия помещаются непосредственно на огнеупорную часть пода.

Для загрузки и выгрузки изделий карусельные ЭПНД могут иметь один проем, если охлаждение нагретых обрабатываемых изделий при их разгрузке не сказывается на их качестве (например, при отпуске и

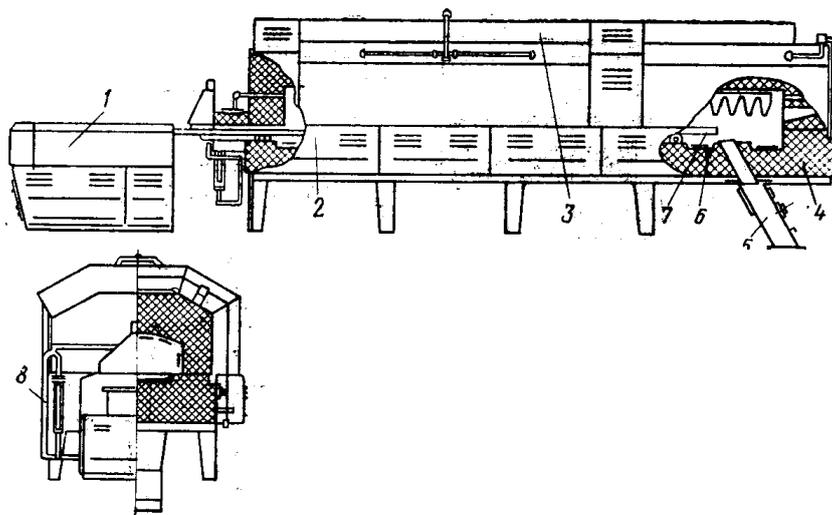
отжиге), а также могут иметь два проема с огнеупорной перегородкой между ними, если ЭПНД предназначены, например, для закалки или нагрева под штамповку, прессование или прокатку.

Вращение пода может быть непрерывным или прерывистым. Если на вращающемся поду расположены нагревательные элементы, то электропитание к ним подводится через скользящие контакты.

В России и странах СНГ разработаны и изготавливаются карусельные электропечи с гладким подом на 700, 1000 и 1250°C мощностью от 20 до 1200 кВт, шириной рабочего пространства от 230 до 1610 мм и средним диаметром пода от 800 до 7000 мм, а также карусельные электропечи с ковшовым подом на 1000°C.

### 10.5 ЭПНД С ПУЛЬСИРУЮЩИМ ПОДОМ

Электропечи с пульсирующим подом имеют ряд преимуществ, благодаря которым они нашли широкое применение в промышленности.



**РИС. 23 ЭЛЕКТРОПЕЧЬ С ПУЛЬСИРУЮЩИМ ПОДОМ: 1 – МЕХАНИЗМ ПУЛЬСАЦИИ; 2 - КОЖУХ; 3 – КРЫШКА; 4 – ФУТЕРОВКА ПЕЧИ; 5 – РАЗГРУЗОЧНЫЙ ЛОТОК; 6 – НАГРЕВАТЕЛИ; 7 – ПОДОВАЯ ПЛИТА; 8 – ГАЗОПОДВОД**

Перемещение изделий в этих ЭПНД осуществляется путем повторяющихся возвратно-поступательных движений подовой плиты - плавного медленного вперед с резким остановом и быстрого - назад. Изделия, находящиеся на поду, во время резкой остановки и движения назад пода по инерции перемещаются вперед. Эти ЭПНД в основном

применяются для термообработки мелких изделий под закалку (до 900°C).

Применяются они также для отжига и высокотемпературного отпуска (до 700°C). Эти ЭПНД легко встраиваются в автоматические и поточные линии.

Агрегаты, в состав которых входят ЭПНД с пульсирующим подом, состоят обычно из конвейерных закалочных баков, конвейерных моечных машин, конвейерных ЭПНД низкотемпературного отпуска, а также другого оборудования конвейерных агрегатов.

Недостатком ЭПНД с пульсирующим подом является то, что они могут применяться при сравнительно невысоких температурах и могут иметь относительно небольшую производительность, определяемую длиной подовой плиты.

Подовые плиты этих ЭПНД выполняются, как правило, из листового проката с приваренными бортовыми пластинами. В качестве опоры используются ролики. Возвратно-поступательное движение подовой плиты осуществляется механизмом кулачкового типа с пружинами или пневмоприводом.

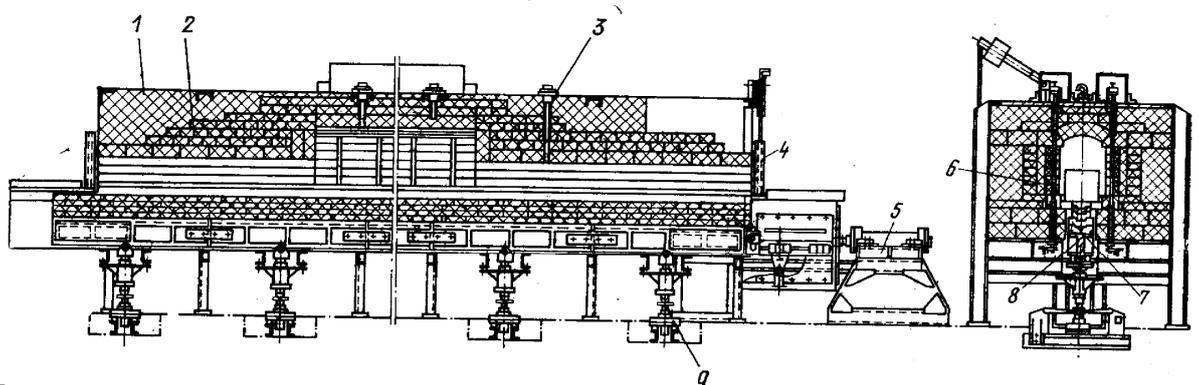
В России и странах СНГ серийно изготавливаются электропечи с пульсирующим подом на температуры до 900°C мощностью от 5 до 150 кВт с размерами пода: шириной - от 125 до 600 мм и длиной - от 500 до 4000 мм.

#### 10.6 ЭПНД С ШАГАЮЩИМ ПОДОМ

---

Перемещение изделий в электрических печах с шагающим подом (с шагающей балкой) осуществляется футерованной подовой балкой. Балка поднимается вверх, снимает загрузку с неподвижной части пода и, перемещаясь вперед, несет изделия в сторону разгрузочного конца. Затем балка, опускаясь вниз, устанавливает изделия на неподвижный под (но уже в другом месте - ближе к разгрузочному концу), а сама, опустившись ниже, возвращается в исходное положение. Таким образом, изделия перемещаются от загрузочного до разгрузочного окна ЭПНД. Преимущества ЭПНД с шагающим подом состоят в том, что в печном пространстве, т. е. в зоне наибольших температур, отсутствуют

металлические детали, что позволяет создавать эти ЭПНД на сравнительно высокие температуры. Электропечи с шагающим подом имеют также и определенные недостатки. К ним относятся сравнительно большая неравномерность температуры в рабочем пространстве, трудность герметизации и, следовательно, сложность применения их с контролируруемыми атмосферами, высокие тепловые потери из-за наличия продольных щелей между подвижными балками и неподвижными частями пода печи. Кроме того, механизм шагающего пода сложен, недостаточно надежен в эксплуатации.



**РИС. 24 ЭЛЕКТРОПЕЧЬ С ШАГАЮЩИМ ПОДОМ: 1 – КОЖУХ; 2 – ФУТЕРОВКА; 3 – ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ; 4 – ДВЕРЦА; 5 – ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРИВОД ПОДА; 6 – КАРБОРУНДОВЫЙ НАГРЕВАТЕЛЬ; 7 – ФУТЕРОВКА БАЛКИ; 8 – ШАГАЮЩАЯ БАЛКА**

Применять электропечи с шагающим подом целесообразно для нагрева изделий сложной конфигурации, которые невозможно транспортировать в других ЭПНД непрерывного действия (например, трубы с фланцами); для нагрева тяжелых изделий до 1200 - 1250°C; для нагрева тяжелых изделий в тех случаях, когда механическая нагрузка на под высока и применять, например, рольганговые печи практически невозможно (нагрев слябов в линии непрерывной разливки стали и т. п.); для нагрева достаточно длинных изделий, когда требуется располагать их в рабочем пространстве поперек ЭПНД. Шагающий под выполняется из труб и профильного проката, в зоне высоких температур находится огнеупорная часть пода, защищающая металлоконструкции от воздействия высоких температур.

Шагающую балку делают по высоте составной. Каждый отрезок балки опирается на две пары роликов. Отдельные отрезки балки соеди-

няются между собой шарнирно так, чтобы было обеспечено жесткое соединение в горизонтальной плоскости и подвижное - в вертикальной.

Загрузка и выгрузка подобных ЭПНД могут быть осуществлены через торцовые проемы, но в отдельных случаях их целесообразно осуществлять через боковую стенку, например при нагреве длинномерных изделий, расположенных поперек печи.

Вертикальный ход шагающего пода составляет 0,05 - 0,1 м у небольших печей и 0,15 - 0,2 м и более, у крупных горизонтальный ход обычно не превышает 0,5 м.

Цикл хода балки достигает 1 мин. Привод механизма передвижения шагающего пода - гидравлический или электромеханический.

Разработаны ЭПНД с шагающим подом на температуры 1150 - 1300°C мощностью от 50 до 500 кВт, шириной рабочего пространства от 300 до 2200 мм и длиной до 12 м.

#### 10.7 БАРАБАНЫЕ ЭПНД

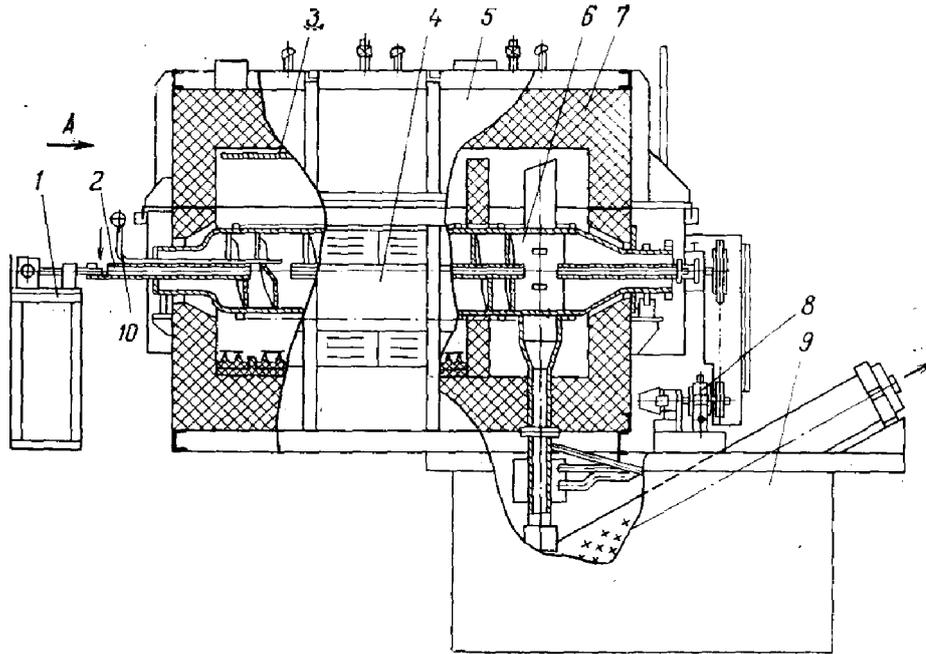
---

Предназначены в основном для обработки изделий с максимальным размером до 80 мм, а также для нагрева порошкообразных материалов.

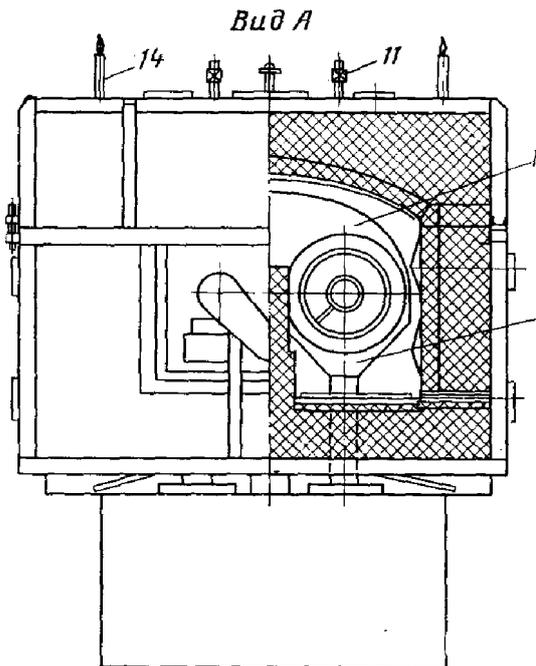
Перемещение нагреваемых изделий или порошка через электропечь осуществляется во вращающемся барабане-муфеле. Внутри муфеля находятся непрерывные ребра, расположенные по винтовой линии с определенным шагом по всей длине. В этом случае при каждом обороте муфеля обрабатываемые изделия перемещаются на один виток.

Возможен барабан и без ребер для передвижения изделий. В этом случае необходимо расположить барабан наклонно под углом 1 - 5° в сторону разгрузки.

Преимущества барабанных ЭПНД в сравнении с другими ЭПНД непрерывного действия состоят в том, что они имеют сравнительно высокие технико-экономические показатели из-за отсутствия затрат теплоты на нагрев вспомогательных транспортных средств; легко встраиваются в автоматические и поточные линии; не требуют каких-либо дополнительных транспортных приспособлений; легко герметизируются и тем самым приспособлены для использования их с контролируемыми атмосферами; в этих ЭПНД обеспечивается высокое качество



термообработки, так как благодаря непрерывному перемешиванию все детали находятся в одинаковых температурных условиях.



**РИС. 4.36. БАРАБАННАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ С КОНТРОЛИРУЕМОЙ АТМОСФЕРОЙ: - МЕХАНИЗМ ЗАГРУЗКИ;- ЗАГРУЗОЧНЫЙ ПАТРУБОК;- НАГРЕВАТЕЛИ; 4 - КОЖУХ; 5 - КРЫШКА; 6 -МУФЕЛЬ; 7 - ФУТЕРОВКА; 8 - ПРИВОД МУФЕЛЯ;9 - ЗАКАЛОЧНЫЙ БАК;- ГАЗОПОДВОД;- ВОЗДУХОПОДВОД; 12 - ЗОНТ; 13- РАЗГРУЗОЧНАЯ ВОРОНКА;14- СВЕЧА**

Недостатками этих ЭПНД являются сравнительно низкая производительность, обусловленная невозможностью обеспечения полного заполнения барабана, а также ограниченная длина барабана. Кроме того, в этих ЭПНД имеется повышенный расход дорогих дефицитных жароупорных сталей.

Нагреваемые в барабанных ЭПНД изделия не должны быть тонкостенными и сложной формы, так как при транспортировке изделий через печь на них могут появиться забоины и вмятины.

Эти ЭПНД наиболее целесообразно применять в условиях массового и крупносерийного производства, например при термообработке шариков, роликов, гаек, колец, осей и т.д.

Максимальная рабочая температура барабанных ЭПС 1000°С, она ограничена работоспособностью металлического муфеля.

Барабанные ЭПНД, как правило, имеют съемные своды. При использовании этих ЭПНД с контролируемыми атмосферами применяются герметичные загрузочные и разгрузочные устройства. В этом случае муфели имеют центральную трубу, к которой примыкают витки ребер, - это обеспечивает проход газа через все витки муфеля. Имеются ЭПНД, в печном пространстве которых расположены два муфеля.

Барабанные ЭПНД используются в поточных линиях для комплексной обработки изделий. Так, широкое применение нашли закально-отпускные и цементационно-закально-отпускные агрегаты.

В России и странах СНГ производятся барабанные ЭПНД для термической и химико-термической обработки деталей, а также для нагрева сыпучих материалов на температуры от 200 до 1000°С, мощностью от 10 до 500 кВт, диаметром рабочего пространства от 400 до 1600 мм и длиной муфеля от 1,2 до 10 м.

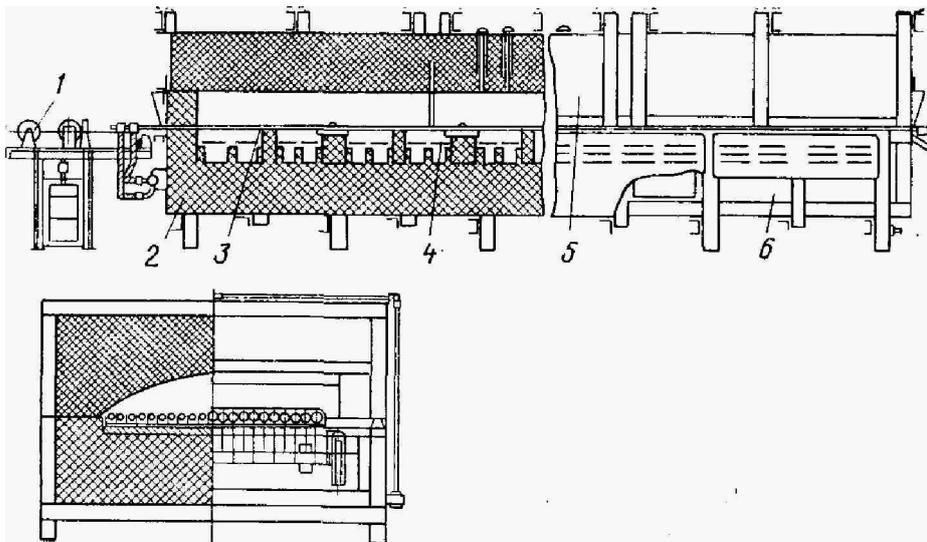
---

## 10.8 ПРОТЯЖНЫЕ ЭПНД

Предназначены для нагрева проволоки, ленты, тонкого листа, труб большой протяженности. В процессе обработки нагреваемый металл непрерывно протягивается через печь с помощью размоточно-намоточных механизмов.

Преимуществом протяжных ЭПНД является высокая равномерность нагрева и как следствие этого - высокое качество обработки в сравнении с нагревом в бухтах или рулонах. Недостатком этих ЭПНД является их сравнительно большая длина.

Протяжные ЭПНД бывают горизонтальные и вертикальные.



**РИС. 4.37. ПРОТЯЖНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ПРОВОЛОКИ: 1 — РОЛИКИ; 2 — ФУТЕРОВКА; 3 — МУФЕЛЬ; 4 — НАГРЕВАТЕЛИ; 5 — КРЫШКА; 6 — КОЖУХ ЭЛЕКТРОПЕЧИ С РУЧЬЕВЫМ ПОДОМ**

В целях получения более высокой производительности электропечей и сокращения их длины ЭПНД делаются многорядными, т. е. через одну печную камеру протягивается одновременно несколько рядов проволоки, ленты или труб. Для увеличения рядности ЭПНД выполняются многоэтажными - с печными камерами, расположенными одна над другой. Кроме того, используется также многократное прохождение проволоки или ленты (многоходность) через одну или несколько рядом стоящих ЭПНД.

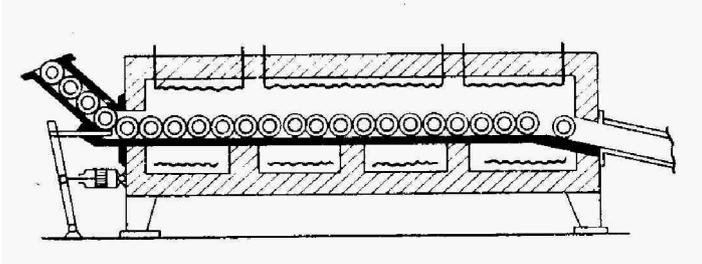
Кроме термообработки проволоки, ленты и других изделий из черных и цветных металлов протяжные ЭПНД нашли весьма широкое применение для сушки и полимеризации лаков или пластмасс.

Особым видом протяжных ЭПНД являются башенные печи. Они применяются для термообработки при большей производительности сравнительно с горизонтальными печами. Скорость движения ленты в таких ЭПНД достигает 10 м/с при ширине ленты до 1 м.

Для исключения остаточных деформаций в ленте диаметр ролика, который огибает лента, должен быть в 800 - 1000 раз больше толщины ленты в холодном состоянии и в 600 - 700 раз в горячем. Тем самым ограничивается толщина обрабатываемой ленты (она не превышает в реальных печах 2 мм).

Для обеспечения нормального прохождения проволоки ленты, труб через горизонтальную протяжную печь на практике часто используют направляющие трубы (в случае обработки проволоки или труб) или муфели (в случае обработки ленты). Направляющие трубы или муфели рас положены в печном пространстве, и через них протягиваются обрабатываемые изделия. Наличие направляющих труб и муфелей облегчает использование протяжных ЭПНД с контролируемыми атмосферами.

В России и странах СНГ серийно выпускается ряд протяжных электропечей: для термообработки проволоки - горизонтальные печи на температуры 950, 1150 и 1300°C мощностью от 100 до 500 кВт и длиной до 20 м, в которых обрабатывается проволока диаметром от 0,2 до 6 мм (одновременно нагревается до 24 проволок); для термообработки ленты - горизонтальные ЭПНД на 650, 950, 1150 и 1300°C мощностью до 400 кВт и длиной до 25 м, в которых обрабатывается лента толщиной от 0,1 до 5 мм; для эмалирования медной и алюминиевой проволок и лент - вертикальные ЭПНД на температуру до 600°C мощностью до 130 кВт, в которых эмалируются проволока диаметром от 0,02 до 3,5 мм и ленты сечением до 500 мм<sup>2</sup> (одновременно нагревается до 28 проволок, каждая проволока проходит через печь до 10 раз).



**РИС. 25 СХЕМА ЭЛЕКТРОПЕЧИ С РУЧЬЕВЫМ ПОДОМ**

Ручьевые электропечи предназначены в основном для закалки стальных изделий массового производства, например колец подшипников, втулок, звеньев траков и т. п.

Основным преимуществом ручьевых ЭПНД является отсутствие затрат теплоты на нагрев вспомогательных транспортирующих устройств; возможность поштучной механизированной выдачи изделий из печи, что позволяет согласовать работу ЭПНД с подачей на закалочные прессы. Вследствие простой конструкции эти ЭПНД весьма надежны в эксплуатации.

Недостатками ручьевых ЭПНД являются возможность использования их только для изделий цилиндрической формы с размерами, соответствующими размерам ручья подовой плиты, а также трудности в освобождении печной камеры от обрабатываемых изделий при прекращении подачи их к ЭПНД или остановках в работе. Как правило, освобождение производится специальными балластными деталями. Изделия в этих ЭПНД располагаются в ручьях (желобах) подовой плиты и передвигаются (перекатываются) в них через рабочее пространство под действием толкающего механизма.

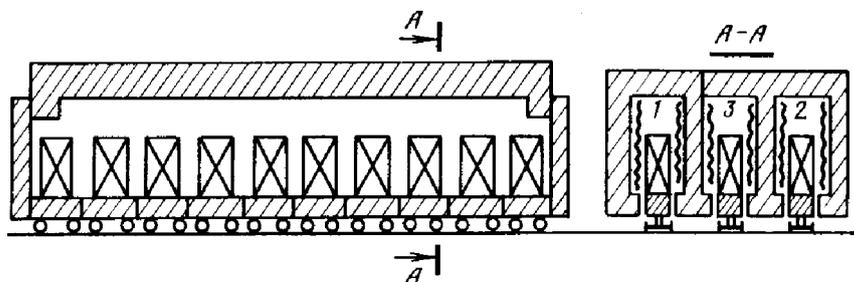
Привод ручьевых ЭПНД бывает гидравлическим и электромеханическим.

Под электропечи выполняется из металла или керамики. Он бывает в виде труб, плит с желобами, направляющих рельсов, что определяется геометрией обрабатываемых изделий. Как правило, электропечи бывают многоручьевыми.

В России и странах СНГ освоено производство ручьевых ЭПНД на температуру 850°С мощностью до 200 кВт с 8 и 12 ручьями в одной печи.

## 10.10 ТУННЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

. Главным преимуществом туннельных ЭПНД является то, что их металлоконструкции (ходовая часть тележек и рельсы) отделены футеровкой тележки от рабочей камеры печи (зоны наибольших температур). Кроме того, эти ЭПНД могут иметь весьма большую производительность.



**РИС. 26 . СХЕМА ТУННЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ**

Недостатком этих ЭПНД является наличие футерованных тележек, которые обладают большой массой и, следовательно, требуют больших затрат на их нагрев; для возврата тележек требуются специальные механизмы и площади. Кроме того, частые нагревы и охлаждения тележек приводят к растрескиванию их футеровки и преждевременному выходу из строя.

Туннельные ЭПНД бывают однорядными и многорядными. Применяются они в основном в огнеупорной промышленности для обжига керамики до  $1300^{\circ}\text{C}$ , хотя в отдельных случаях используются для сушки при температуре до  $300^{\circ}\text{C}$  сварочных электродов.

Для улучшения технико-экономических показателей этих ЭПНД используется рекуперация теплоты. Так, в трехрядных ЭПНД в крайних рядах загрузки перемещаются в направлении, противоположном движению в центральном ряду. Начальная стадия нагрева загрузки происходит в крайних рядах, конечная - в центральном. В этом случае часть теплоты от изделий, находящихся в центральном ряду, передается изделиям, находящимся в крайних рядах. При этом одновременно упрощается передача тележек от выхода их из электропечи к входу. Темп перемещения тележек в крайних рядах в 2 раза меньше, чем в центральном.

В термических цехах обычно закалочные жидкости находятся в закалочных баках и в ряде случаев в закалочных прессах и других устройствах. По способу перемещения деталей баки делятся на три следующих вида:

Немеханизированные закалочные баки, которые не имеют специальных устройств для загрузки и выдачи деталей на «воздух» после охлаждения. •

Механизированные бесконвейерные, закалочные баки.

Конвейерные закалочные баки.

Немеханизированные баки могут быть цилиндрические, квадратные и прямоугольные. Они обслуживают печи периодического действия.

В этих закалочных баках охлаждающая жидкость может быть неподвижной (спокойной) и подвижной или проточной. Состояние закалочной жидкости зависит от технологических требований, предъявляемых к закалочной жидкости в отношении ее охлаждающей способности. Немеханизированные закалочные баки изготовляют путем сварки из 4-6 мм листовой стали марки 10 или 20. Такие баки не имеют специальных устройства для загрузки и выгрузки изделий, и обычно эти операции осуществляют вручную или с помощью простейших механизмов внешней механизации.

Наиболее часто применяют баки размером 1200x700x800 и 600x700x800 мм. При большой высоте баки углубляют в землю так, чтобы высота их над уровнем пола не превышала 800-860 мм. При необходимости иметь рядом два охладителя, например воду и масло, баки разделяют перегородкой на два отсека.

Рядом с шахтными печами обычно устанавливают цилиндрические баки, глубина которых немного больше глубины рабочего пространства печи, чтобы при погружении изделий в бак они покрывались слоем закалочной жидкости достаточной толщины. При закалке изделий в воде постоянство температуры в баке поддерживают путем подачи воды из водопровода и удаления нагретой воды в

канализацию. Если в качестве закалочной жидкости используют масло, то его необходимо искусственно охлаждать.

В немеханизированных баках с малой производительностью закалочная жидкость охлаждается естественно в промежутки между закалочными операциями.

При большой производительности и частой загрузке нагретых изделий в практике применяют следующие способы охлаждения жидкостей в закалочных баках:

Баки строят двустенными. Между стенками циркулирует охлаждающая вода, а закалочная жидкость помещается во внутреннем баке.

Внутри (бака по стенкам устанавливают змеевики из труб диаметром 20-60 мм, по которым циркулирует холодная вода, охлаждающая закалочную жидкость.

В случае применения, баков с (циркуляцией закалочной жидкости устраивают централизованное ее охлаждение вне закалочного бака, в специальной охладительной установке. Охладительные установки могут быть индивидуальные и групповые, обслуживающие ряд закалочных баков или все баки данного цеха.

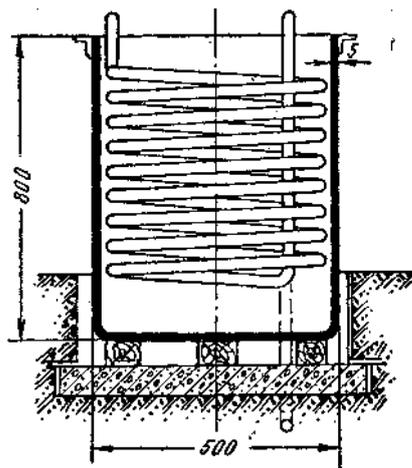
В баках с проточным движением закалочной жидкости необходимо создать условия равномерного охлаждения изделий. Это может быть достигнуто путем движения закалочной жидкости в баке сплошным фронтом, а не отдельными струями. Подвод жидкости в бак отдельными струями может вызвать сильное коробление и другие дефекты в закаливаемых изделиях. Поэтому подвод свежей закалочной жидкости производят снизу баков, а отвод сверху, в сливной «карман» через ряд отверстий, высверленных в боковой стенке бака на одном уровне, недалеко от верхнего среза бака. Из сливного кармана жидкость отводится самотеком в сборный бак. Карманы служат также для приема избыточной жидкости, вытесняемой (при погружении в нее изделий).

Кроме закалочных баков, в термических (цехах) применяют закалочные прессы, машины и другие устройства.

## 11.1 НЕМЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ЗАКАЛОЧНЫЕ БАКИ

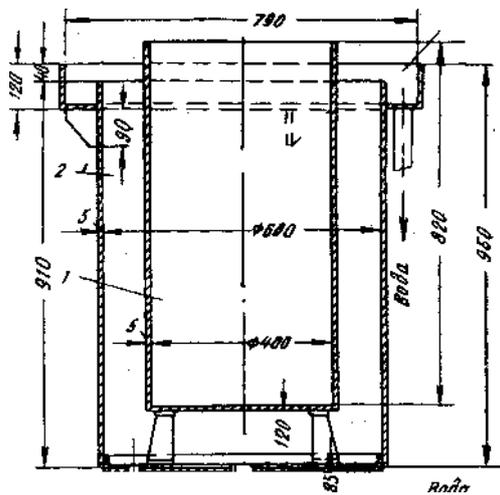
Немеханизированные закалочные баки без принудительной циркуляции закалочной жидкости.

Немеханизированные закалочные баки с естественным или местным охлаждением применяют в случае небольшого объема закалочных операций, т. е. при малой напряженности работы баков, что имеет в термических цехах или отделениях индивидуального или мелкосерийного производства.



**. РИС. 27 ЗАКАЛОЧНЫЙ БАК С ОХЛАЖДАЮЩИМ ЗМЕЕВИКОМ**

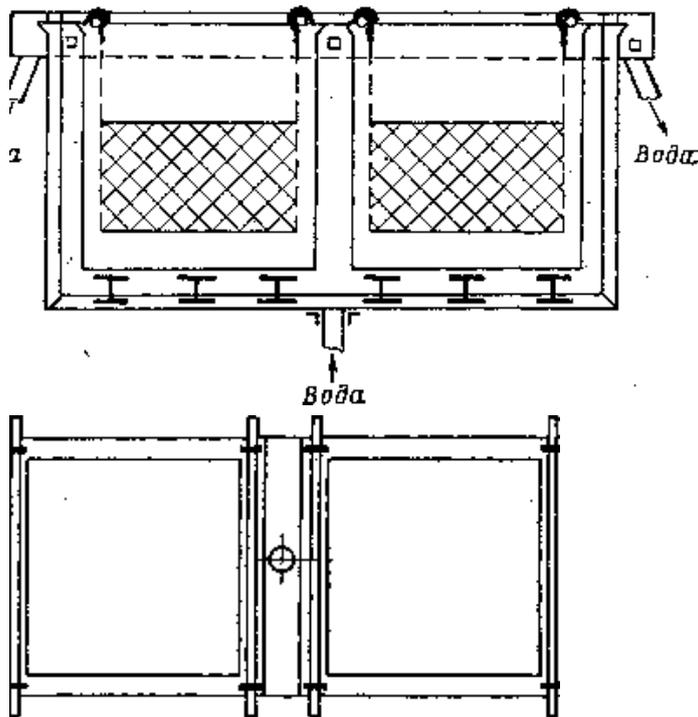
На рис. 28 представлен закалочный бак с охлаждающим змеевиком, расположенным по внутренним стенкам бака. Змеевик изготовлен из железных труб диаметром 20-30 мм. Внутри труб циркулирует холодная вода. На рис. 29 представлен двустенный закалочный бак с охлаждением закалочной жидкости, обычно масла, водой, циркулирующей в пространстве между стенками двух баков. Этот бак небольшой производительности применяют для закалки мелких изделий. Он состоит из внутреннего бака 1 для масла, внешнего бака 2, кольцевого кармана 3 для слива охлаждающей воды, отверстия 5 для слива воды при ремонте и трубы 4 для подачи свежей воды.



**РИС. 28 ЗАКАЛОЧНЫЙ БАК С ОХЛАЖДЕНИЕМ МАСЛА ВОДОЙ, ЦИРКУЛИРУЮЩЕЙ В ПРОСТРАНСТВЕ МЕЖДУ СТЕНОК ДВУХ БАКОВ**

В заводских условиях часто требуются две закалочные жидкости - вода и масло. Поэтому целесообразно применять сдвоенные закалочные баки.

На рис. 30 представлен сдвоенный закалочный бак с отделениям, для -масла :и воды.



**РИС. 29 СДВОЕННЫЙ ЗАКАЛОЧНЫЙ БАК ДЛЯ ВОДЫ И МАСЛА**

Оба бака помещены в общий наружный бак, заполненный охлаждающей проточной водой. В закалочных баках помещены съемные дырчатые днища, подвешенные на тросах. С помощью ручной лебедки после окончания охлаждения каждое днище вместе с

изделиями вынимают из бака. Кроме того, в период закалки днищу можно сообщить колебательные движения, что ускорит охлаждение изделий в закалочной жидкости.

В данном случае возможно применить также бак с двумя отделениями и с охлаждением закалочных жидкостей с помощью змеевиков, уложенных по внутренним стенкам бака и охлаждаемых проточной водой.

Конструкция баков с охлаждающими змеевиками более эффективна, так как здесь поверхность охлаждения больше, чем в баках с двойными стенками.

Немеханизированные закалочные баки с принудительной циркуляцией закалочной жидкости.

Немеханизированные закалочные баки с циркуляцией закалочной жидкости применяют в термических цехах яри большой напряженности работы баков. Это имеет место, во-первых, при выполнении закалки крупных изделий, когда, одновременно требуется охлаждать большие массы нагретого металла и, следовательно, необходима интенсивная подача свежей холодной закалочной жидкости и, во-вторых, при крупносерийном и массовом производстве, когда создается высокая напряженность работы, баков в течение длительного времени.

Принудительная циркуляция закалочной жидкости может быть осуществлена с помощью перемешивания жидкости сжатым воздухом, паром, крыльчаткой вентилятора, а также горизонтальным, вертикальным или вращательным перемещением изделий в баке,

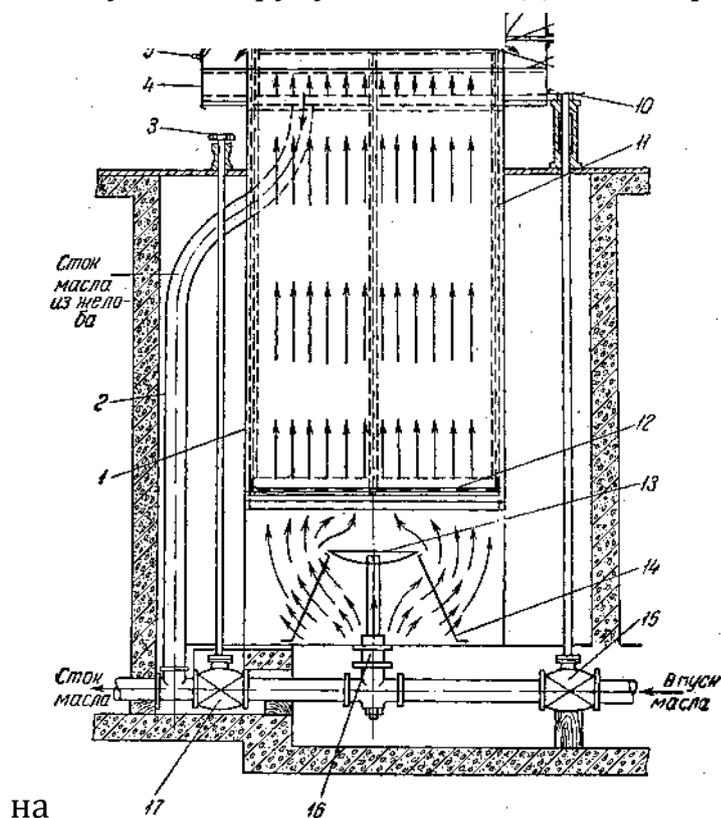
Циркуляция закалочной жидкости не может дать должного эффекта при очень большой напряженности работы бака. В этом случае необходимо строить баки или очень больших размеров, или предусматривать интенсивную циркуляцию закалочной жидкости с целью создания благоприятных условий охлаждения закаливаемых изделий. В первом случае требуются специальной конструкции закалочные баки, а во втором - запасы больших количеств свежей закалочной жидкости в специальных резервуарах, питающих закалочные баки.

Большие запасы закалочных жидкостей (например, масел, мазута) сохранить вблизи цеха нельзя из-за возможности пожара, а и экономически нецелесообразно. Поэтому в практике работы цехов применяют искусственное охлаждение использованной жидкости в специальных охладительных установках.

Рассмотрим некоторые типичные конструкции закалочных с принудительной циркуляцией закалочной жидкости, в специальной охладительной установке.

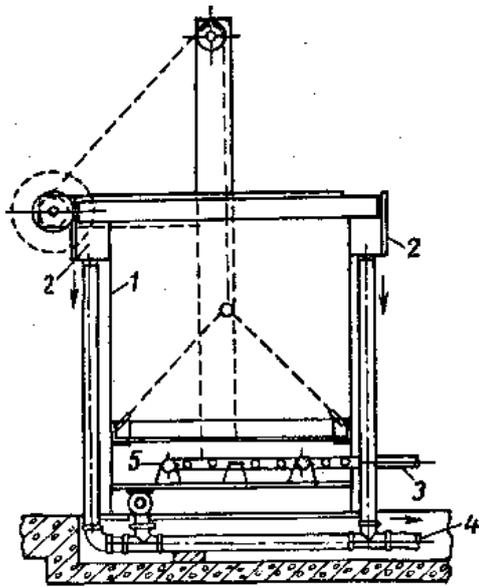
На рис, 31 представлен глубокий цилиндрический закалочный бак с циркулирующим маслом, применяемый при закалке валов, труб, ков и другой формы длинных изделий. Эти изделия погружают в вертикальном (положении в специальных приспособлениях.

В бак закалочная жидкость подается снизу через патрубок 16 в центре дна бака. Равномерными потоками закалочная жидкость поднимается кверху и стекает через верхние края бака в карман 4, приваренный или приклепанный извне к краям бака. При таком стоке изделия равномерно охлаждаются. Для удаления жидкости карман имеет сточную трубу 2. Для дробления потока жидкости



**РИС.30 ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ГЛУБОКИЙ ЗАКАЛОЧНЫЙ БАК С ЦИРКУЛИРУЮЩИМ МАСЛОМ**

В момент погружения изделий масло загорается и горит до полного погружения изделий. На это время по трубке 5 в бак добавляют газ для тушения горящего масла. Если в качестве закалочной жидкости применяют воду или водные растворы или масляные баки имеют наибольшую емкость и производительность, бортовые отсосы 6 и кольцевая труба 5 для подачи газа не применяются. Впуск закалочной жидкости в бак осуществляется с помощью крана 15 и штурвала 10, а ее выпуск из бака с помощью крана 17 и штурвала 3.



**РИС. 31 БАК С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ЗАКАЛОЧНОЙ ЖИДКОСТИ**

На рис. 32 представлен закалочный бак 1 с принудительной циркуляцией жидкости, подаваемой из охлаждающей установки через трубу 3. Участок трубы 5, размещенный в закалочном баке, имеет отверстия 5, изогнут и уложен внутри бака горизонтально, немного выше дна бака на подставках. Форма изгиба трубы чаще всего соответствует внешним очертаниям бака.

Отверстия в трубе делают сбоку, чтобы они не могли засориться окалиной. При работе закалочная жидкость, поступающая из отверстий 5, переполняет бак, и избыток ее через карман 2 и трубу 4 поступает в сборный бак.

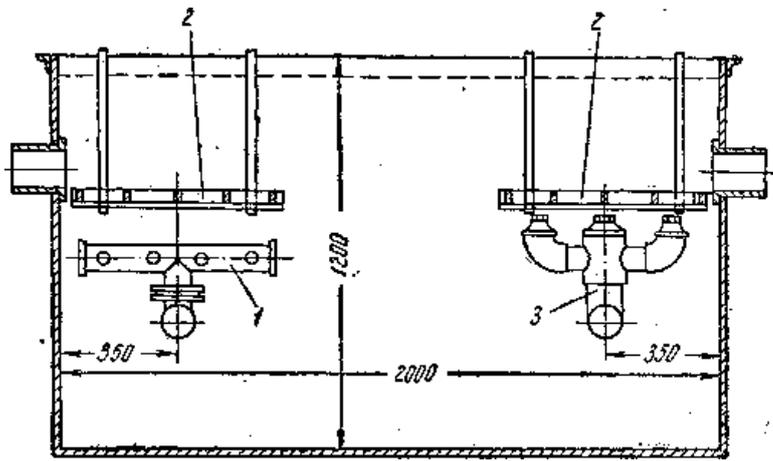
При закалке изделий со сложной конфигурацией, когда есть опасность недостаточно быстрого охлаждения из-за скопления паров закалочной жидкости в труднодоступных местах и в связи с этим неравномерной закалки изделий, применяют струйчатую закалку (например, при закалке матриц, пресс-форм, штампов и т. п.). Струйчатую закалку применяют также там, где желают создать усиленное охлаждение части или всего изделия.

## 11.2 МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ЗАКАЛОЧНЫЕ БАКИ

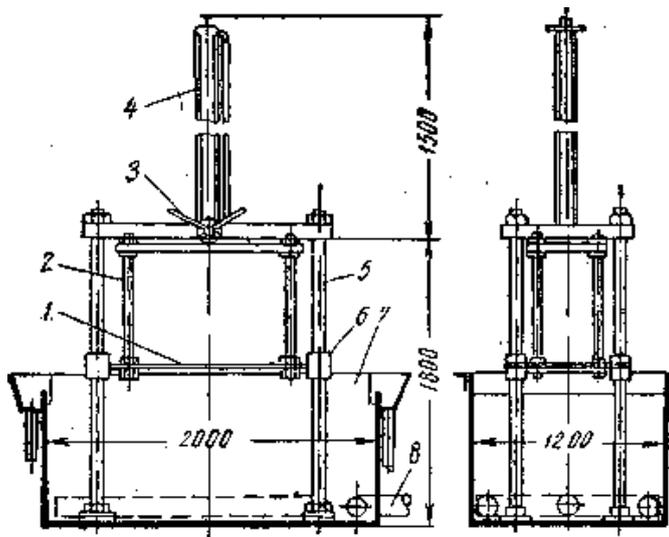
Для закалки изделий, нагретых на поддонах в толкательных печах, или после газовой цементации деталей в толкательных печах применяют механизированные закалочные баки с вертикальным погружением поддона с деталями в бак. Это обычные баки с принудительной

циркуляцией закалочной жидкости, в которых установлен стол с отверстиями: в крышке, имеющий вертикальное поступательное или вращательное движение.

Рассмотрим некоторые типичные конструкции указанных баков.



**РИС. 32 БАК СО СТРУЙЧАТЫМ УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ ЗАКАЛКИ ШТАМПОВ**



**РИС. 33 ЗАКАЛОЧНЫЙ БАК С ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ПОДЪЕМНИКОМ**

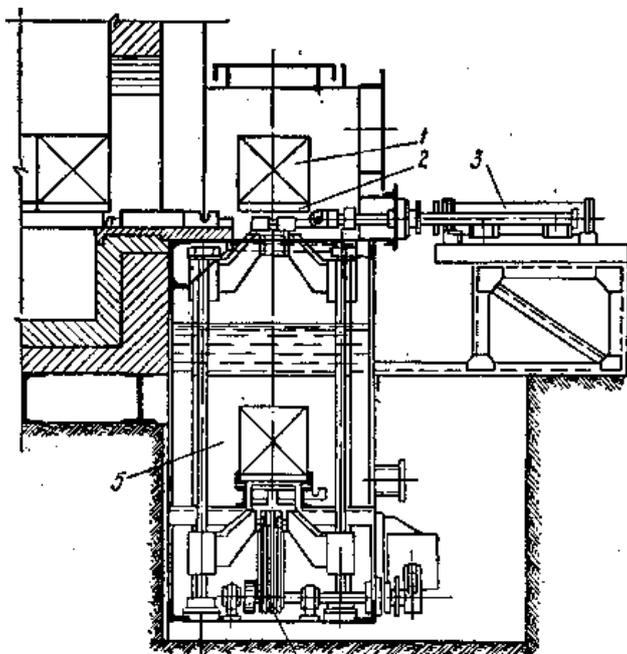
На рис. 34 представлен механизированный закалочный бак с пневматическим подъемником для закалки деталей на поддонах после газовой цементации. Бак имеет следующие размеры: 2000 x 1200 x 1100 мм, высота бака с подъемником 3300 мм.

Поддоны с изделиями после нагрева в толкательной печи или после газовой цементации выдают на стол 1 закалочного бака 7. Перемещение стола вниз и вверх осуществляют с помощью рамы, четырех тяг 2 пневматического подъемника 4 и золотника 3. Для опускания стола вместе с поддоном в масло из цилиндров выпускают воздух, а для подъема стола после охлаждения деталей - поворотом золотника воздух подают в цилиндр пневмоподъемника. Втулки 6, приваренные к столу, скользят по направляющим штангам 5 и служат для центрирования стола. Свежую закалочную жидкость подают по разветвляющимся трубам в нижнюю часть бака. Для работы

подъемника в баке необходим воздух давлением 49-59н/см<sup>2</sup> (5-атм.). Производительность бака с пневматическим подъемником при работе у цементационной печи составляет 200-300 кг/ч.

Механизированные закалочные баки, которые применяют в безмуфельных агрегатах для газовой цементации, имеют тот же принцип работы, что и только что описанный бак, но они имеют приспособление для перемещения поддона изделиями на последующие участки для дальнейшей обработки изделий.

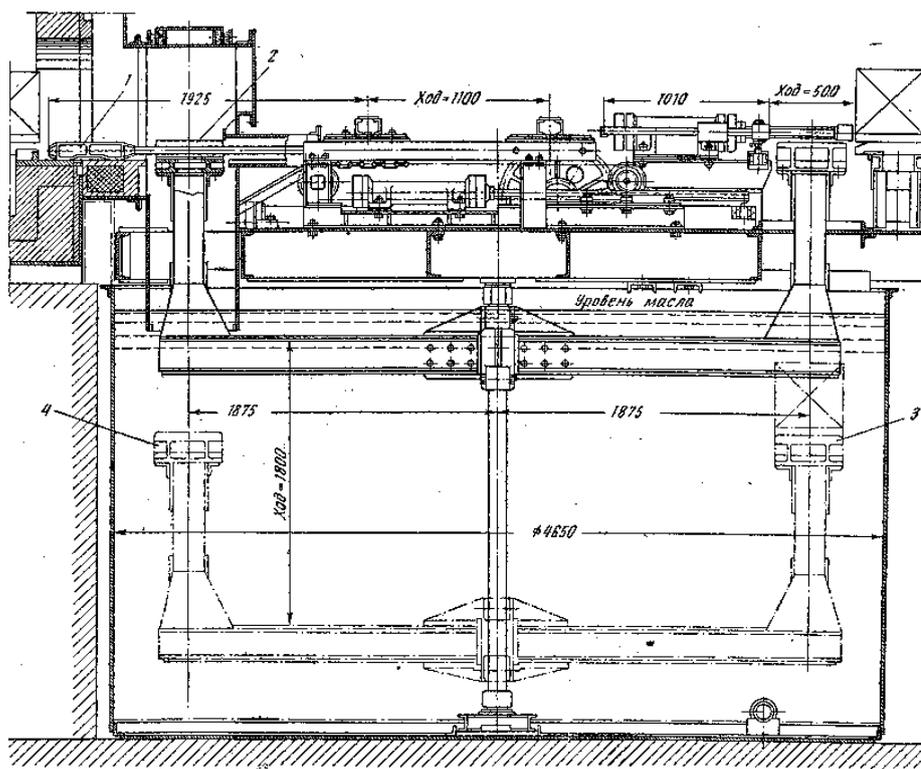
На рис. 35 представлен механизированный закалочный бак в прямоугольном безмуфельном агрегате конструкции Стальпроекта для газовой цементации и последующей термической обработки деталей. Выталкиватель 5 служит для установки поддона с изделиями на приемный стол 2 закалочного бака 5. С помощью гидравлического устройства стол 2 вместе с поддоном и изделиями погружают в масло для закалки изделий. Затем гидравлический толкатель 4, установленный в нижней части бака, проталкивает поддон вдоль бака и перемещает его на другой подъемный стол в противоположном конце бака. Охлажденный поддон с изделиями поднимается вверх и толкателем передвигается сначала в промывную машину, а потом в печь для низкого отпуска.



**РИС. 34 МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ ЗАКАЛОЧНЫЙ БАК В ПРЯМОУГОЛЬНОМ АГРЕГАТЕ ДЛЯ ГАЗОВОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ**

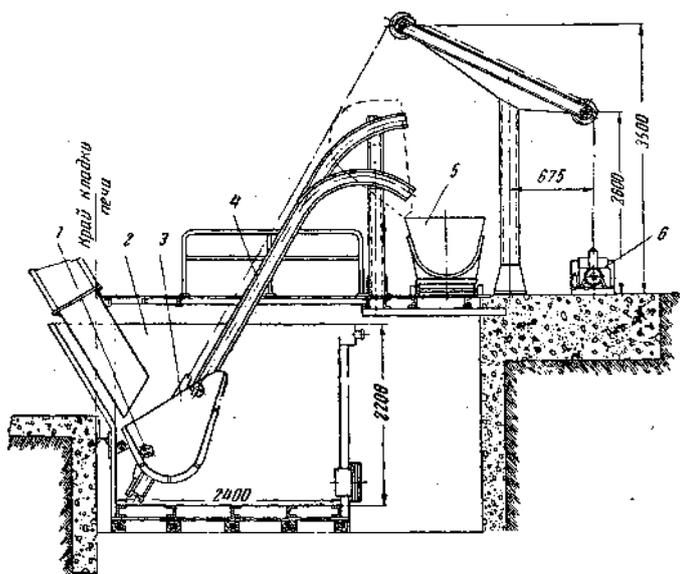
Механизированный закалочный бак в прямоточном безмуфельном агрегате конструкции Стальпроекта для тазовой цементации, представленный на рис. 100, имеет цилиндрическую форму и снабжен поворотным столом. Гидравлический выталкиватель 1 устанавливает выданный из цементационной печи поддон с изделиями на стол 2 (одновременно действуют два вытаскивателя-толкателя). Затем стол 2 автоматически погружается в масло в положение 4 для закалки изделий. Далее с помощью гидравлического механизма стол 2 перемещается на  $180^\circ$  в положение 5. По истечении определенного времени стол 2 вновь поднимается вверх. При очередном толкании поддон с изделиями перемещают в моечную машину, а в это время на другой стороне у цементационной печи выталкиватель 1 устанавливает новый поддон на стол 2, и цикл закалки снова повторяется. Недостатком цилиндрического закалочного бака является его большой объем и сложность перемещения поддонов. Более рациональной была бы конструкция бака с прямоточным перемещением поддонов с деталями 1.

При установке в цехе закально-отпускных агрегатов для массового производства различных мелких изделий простой геометрической формы (шариков, роликов, нормалей и прочих изделий) могут быть применены элеваторные закалочные баки.



**РИС. 35 . МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ ЗАКАЛОЧНЫЙ БАК В ПРЯМОТОЧНОМ АГРЕГАТЕ ДЛЯ ГАЗОВОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ**

На рис. 37 представлен элеваторный закалочный бак. Из закалочной печи детали по желобу направляют непосредственно в закалочную жидкость на дырчатый ковш элеватора 3. При извлечении деталей из закалочного бака 2 элеватор приводится в движение лебедкой 6 по направляющим балкам 4. Балки смонтированы так, что вверху они расходятся, заставляя нижние ролики ковша подниматься вверх, а верхние ролики опускаться вниз. При этом дырчатый ковш опрокидывается и детали попадают в вагонетку



**РИС. 36 ЭЛЕВАТОРНЫЙ ЗАКАЛОЧНЫЙ БАК**

### 11.3 КОНВЕЙЕРНЫЕ ЗАКАЛОЧНЫЕ БАКИ

Конвейерные закалочные баки имеют механизированную загрузку и выгрузку деталей. Устанавливают их обычно у печей непрерывного действия. Конвейер у баков этого типа может иметь горизонтальное и вертикальное расположение. Наиболее часто применяют закалочные баки с горизонтальным расположением конвейера. В связи с непрерывной работой этих баков необходимо поддерживать постоянную температуру закалочной жидкости, так чтобы температура ее не превышала 35- 40° С.

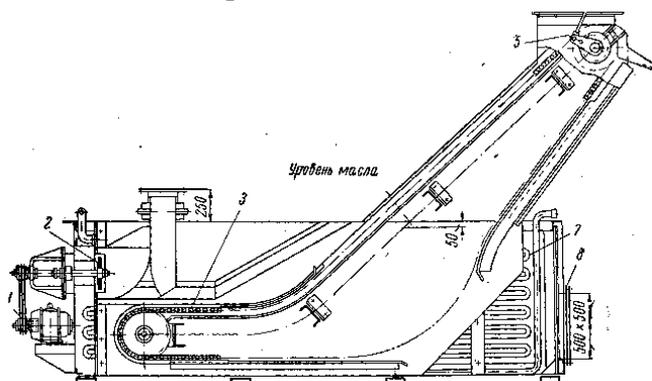
Для этой цели закалочную жидкость охлаждают водой, пропускаемой через змеевики из железных труб диаметром 25-30 мм, уложенные внутри по стенкам бака, или непрерывно подводят в бак свежую закалочную жидкость из холодильных установок и непрерывно удаляют из него отработанную жидкость. Конвейерные баки заводами термического оборудования выпускаются двух типов (исполнений).

На рис. 38 представлен конвейерный закалочный бак первого типа - с охлаждением закалочной жидкости с помощью змеевиков 7 с циркулирующей водой. Для перемешивания закалочной жидкости, с целью ускорения охлаждения, со стороны падения в бак деталей

установлен вентилятор 2. Вентилятор приводится в движение с помощью электродвигателя 1.

В месте падения деталей в бак конвейерная лента 3 перемещается горизонтально с помощью направляющих фигурных уголков, расположенных по краям конвейера.

Конвейер обычно набирают из стальных пластин с отогнутыми с боков краями для образования бортов. Пластины смонтированы на двух несущих пластинчатых цепях. Цепи уложены на двух парах звездочек. Ведущая пара звездочек расположена наверху бака, где сбрасываются охлажденные детали. Подъемная часть конвейерной ленты наклонена под углом 30-45°. При угле наклона больше 30° на конвейере необходимо делать поперечные ребра, чтобы избежать оползания деталей с конвейера.



**РИС. 37 КОНВЕЙЕРНЫЙ ЗАКАЛОЧНЫЙ БАК С ОХЛАЖДАЮЩИМ ЗМЕЕВИКОМ ТИПА ЗБ-600К**

Движение конвейерной ленты в баке осуществляется с помощью электродвигателя 4 через редуктор 6 и храповой механизм 5. Для очистки бака от окалины предусмотрен люк 8.

Крупным недостатком этого бака является необходимость затрачивать тяжелый ручной труд на очистку его от окалины. Поэтому в некоторых конструкциях баков предусматривают, например, шнековые устройства для очистки от окалины без остановки баков на очистку. Недостатком этих баков также является ограниченная производительность при непрерывной закалке большого количества изделий вследствие недостаточной интенсивности охлаждения закалочной жидкости посредством змеевиков. В связи с этим более целесообразным является охлаждение закалочной жидкости не с помощью змеевиков, а в специальной маслоохладительной установке,

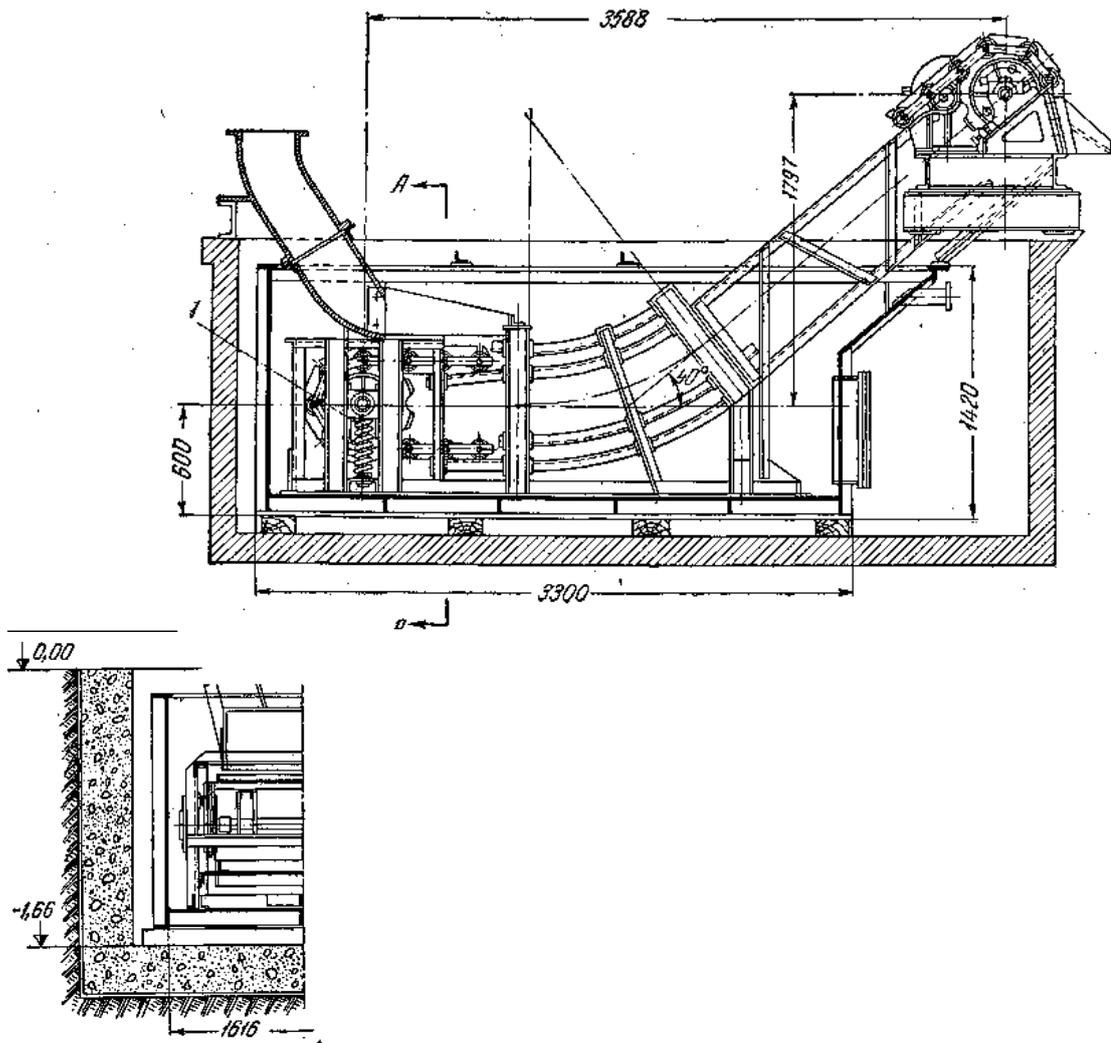
которая может обеспечить охлаждение достаточного количества закалочной жидкости при интенсивной работе закалочного бака.

Обычно охлажденную закалочную жидкость подают через трубы, имеющие в подводящем конце ряд мелких отверстий, расположенных так, чтобы струи жидкости из отверстий омывали падающие в бак изделия.

Подачу жидкости производят либо под желоб, либо под полотно конвейера, либо над полотном конвейера. Отводят нагретую закалочную жидкость через сливной карман закалочного бака, расположенный на стороне выдачи изделий из бака. В результате создают направленную от горячих изделий циркуляцию жидкости и интенсивное их охлаждение. Конвейер закалочного бака может иметь самостоятельный привод, но часто движение конвейера закалочного бака осуществляют от приводного механизма конвейера закалочной печи с помощью соответствующей цепной передачи.

В конструкциях баков второго типа подачу масла производят из централизованной маслоохладительной установки, обслуживающей несколько закалочных баков. В этом случае в баках отсутствуют крыльчатки для перемешивания закалочной жидкости и змеевики для ее охлаждения.

Представленный на рис. 39 конвейерный закалочный бак применяют для закалки мелких деталей, которые проходят через слой закалочной жидкости и при падении не могут повредить полотна конвейера.



**РИС. 38 КОНВЕЙЕРНЫЙ ЗАКАЛОЧНЫЙ БАК С АМОРТИЗИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ УДАРА ПРИ ЗАКАЛКЕ ТЯЖЕЛЫХ ДЕТАЛЕЙ**

При закалке крупных деталей необходимо ослабить удар о полотно конвейера. С этой целью в закалочных баках для крупных деталей ось нижних цепных звездочек устанавливают в двух подшипниках, движущихся по двум вертикальным пазам, имеющим снизу амортизирующие пружины.

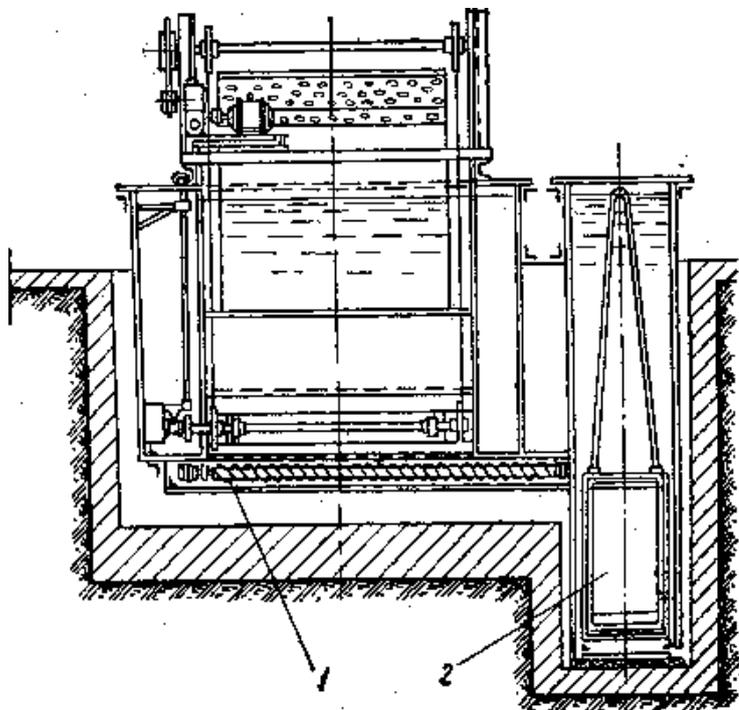
Насть полотна конвейера в месте падения деталей также имеет амортизирующее устройство. В результате полотно конвейера предохраняется от повреждений при ударе тяжелых деталей.

На рис. 39 представлен закалочный бак с амортизирующим устройством для закалки тяжелых деталей.

Чтобы не допускать нагромождения изделий на конвейерной ленте закалочного бака, ее скорость должна быть в 1,5 - 3 раза больше скорости конвейера печи или средней скорости движения изделий через

печь. Длину горизонтального участка ленты конвейера закалочного бака устанавливают в зависимости от необходимого времени охлаждения изделий и скорости движения конвейера.

На рис. 40 приведен бак с приспособлением для его очистки от окалины без остановки агрегата.



**РИС. 39. ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ КОНВЕЙЕРНОГО ЗАКАЛОЧНОГО БАКА С УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТ ОКАЛИНЫ**

Под конвейерной лентой бака установлен шнековый транспортер, который при вращении удаляет окалину из бака и сбрасывает ее в корзину 2. Корзину по мере наполнения окалиной вынимают из бака с помощью тельфера, очищают от окалины и устанавливают вновь в бак.

## 12 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ В ВАКУУМЕ

### 12.1 НАГРЕВ В ВАКУУМЕ

При термической обработке в вакууме отсутствует окисление и обезуглероживание деталей, обеспечивается удаление окалины, абсорбированных газов, загрязнений и масла, получается чистая поверхность. Для термообработки целого ряда ответственных материалов вакуумный нагрев является единственно возможным способом нагрева.

Процессы термообработке в вакууме имеют свои особенности. Поскольку теплопередача в вакууме происходит только за счёт излучения и теплопроводности обрабатываемого материала, скорость нагрева существенно ниже, чем при нагреве в атмосфере, что уменьшает деформацию и вероятность трещинообразования в деталях.

При нагреве в вакууме происходит дегазация нагреваемого металла – улетучивание водорода и других растворенных газов, что приводит к повышению его прочности и вязкости.

Преимуществом вакуумного нагрева является улучшение санитарно-гигиенических условий в цехе (отсутствие теплоизлучения и выделения газов, низкий уровень шума); простота в управлении печами (высокий уровень их автоматизации); обеспечение высокого качества и свойств термообработанных деталей.

Вакуумный нагрев применяют для различных видов термической и химико-термической обработки сталей сплавов цветных металлов и специальных сплавов. Вакуумный нагрев постепенно вытесняет термообработку в контролируемых атмосферах и соляных ваннах.

К недостаткам вакуумных печей следует отнести их высокую стоимость, металлоёмкость, трудоемкость в изготовлении, они потребляют значительное количество качественной охлаждающей воды; эксплуатация их может осуществляться обслуживающим персоналом только высокой квалификации. Создать вакуумные электропечи высокой производительности сложно, они занимают сравнительно большую площадь.

Вакуумные печи сопротивления применяют для спекания изделий из порошков тугоплавких и легкоокисляющихся металлов, магнитных материалов и др.; обезгаживание и сушку; различных видов термической обработки, включая отжиг, нормализацию, закалку, отпуск, пайку ответственных деталей; х.т.о.; нагрева заготовок под обработку давлением.

Считается, что в странах с высоким уровнем индустриализации доля вакуумной термической обработки составляет 25—35%, а в ближайшие 10 лет в вакууме будет обрабатываться более половины изделий.

Температурные интервалы термической обработки чистых металлов обычно составляют  $(0,45 - 0,65) T_{пл}$ , причем для сплавов на основе этих металлов -ближе к верхнему пределу. Ниже приведены температурные интервалы термической обработки чистых металлов.

<b>Металл</b>	<b>Интервал температур термической обработки чистых металлов – <math>(0,45 - 0,65) T_{пл}</math>.</b>
<b>Медь</b>	<b>3430 – 610</b>
<b>Титан</b>	<b>600 – 1000</b>
<b>Цирконий</b>	<b>680 – 1100</b>
<b>Гафний</b>	<b>850 – 1350</b>
<b>Ванадий</b>	<b>700 – 1150</b>
<b>Ниобий</b>	<b>950 – 1500</b>
<b>Тантал</b>	<b>1200 – 1850</b>
<b>Хром</b>	<b>710 – 1150</b>
<b>Молибден</b>	<b>1000 – 1600</b>
<b>Вольфрам</b>	<b>1400 – 2100</b>
<b>Кобальт</b>	<b>520 – 880</b>
<b>Никель</b>	<b>505 - 850</b>
<b>Железо</b>	<b>540 – 910</b>

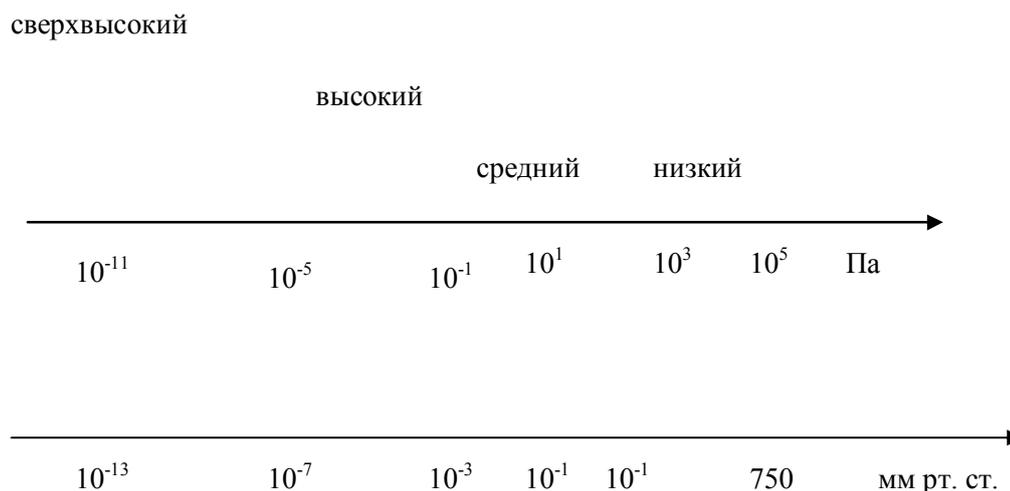
Выбор остаточных давлений при термической обработке - сложная задача. Рассчитанные по упругости диссоциации окислов, нитридов и карбидов металлов остаточные давления настолько малы, что при современном состоянии вакуумной техники получение их невозможно .

При термической обработке в вакууме необходимо учитывать испарение металлов и химических соединений, образующихся на поверхности деталей

Качество поверхности обрабатываемого металла в первую очередь будет зависеть от испарения самого металла. Если в процессе нагрева при термической обработке металл будет испаряться, та поверхность изделий будет светлой. Толщина зоны твердых растворов, образующихся на поверхности металлов, будет определяться парциальными давлениями элементов внедрения в остаточных газах, скоростями поверхностных реакций и диффузии, а также температурно-временными характеристиками процесса.

## 12.2 ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА И ЕЁ ЭЛЕМЕНТЫ

Под вакуумом понимают такое состояние разреженного газа, которому соответствует область давлений ниже  $10^5$  Па, т.е. ниже атмосферного давления. В зависимости от степени разрежения различают низкий, средний, высокий и сверхвысокий вакуум. Области давлений, обычно соответствующие тому или иному вакууму представлены на рисунке:



Для получения и поддержания вакуума служат вакуумные системы, представляющие собой совокупность оборудования, приборов и аппаратов, включая печь, откачные устройства, вакуумпроводы, аппаратуру, обеспечивающие создание и поддержание необходимого для проведения технологического процесса давления.

Рассмотрим элементы вакуумных систем, которые являются общими для вакуумных печей всех типов. В общем случае вакуумная система электропечи состоит из вакуумной печи и системы откачки.

Вакуумная печь – герметизированная печь, в которой термический процесс проводится при давлении газа значительно ниже атмосферного, создаваемого с помощью вакуумного насоса (вакуумных насосов).

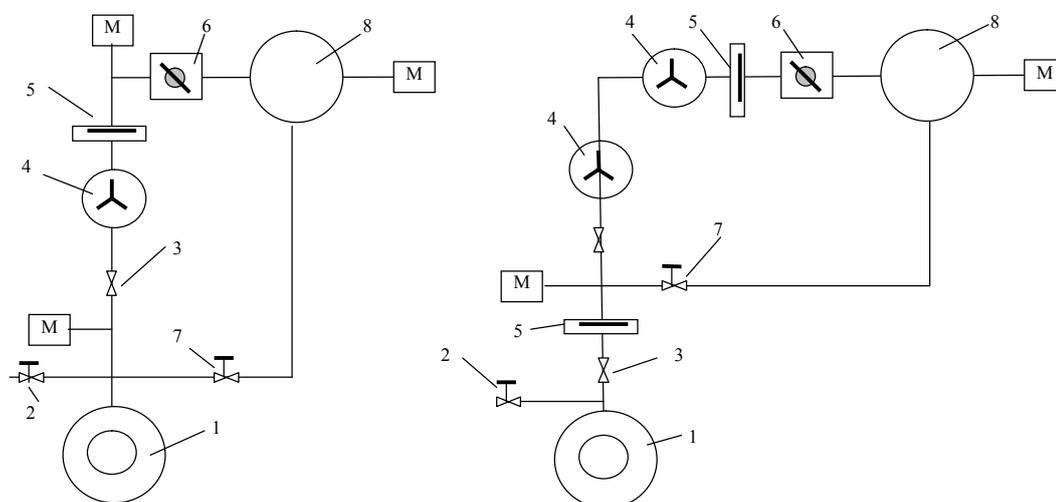
Система откачки – это совокупность устройств, предназначенных для создания и поддержания в вакуумной электропечи требуемого вакуума. Систему откачки вакуумной печи входят вакуумные насосы, ловушки, фильтры, вакуумпроводы и вакуумная аппаратура. К вакуумным иногда относят печи, работающие с защитной атмосферой, в

которых вакуум создается перед заполнением их защитным газом. Благодаря этому достигается экономия защитного газа и сокращается время процесса, так как отпадает необходимость продувки печи для вытеснения воздуха.

Рабочий вакуум электропечи характеризуется давлением, которое поддерживается в рабочем пространстве печи во время проведения заданного технологического процесса.

Предварительная откачка – откачка от атмосферного давления до давления, при котором начинает действовать соответствующие насосы, имеющие большую скорость откачки. Натекание – проникновение газа из окружающей среды внутрь объема, находящегося под вакуумом. На практике под натеканием в электрическую печь принято считать увеличение количества газов во внутренней объем печи за счет проникновения газа из окружающей среды и газовыделения из внутренних элементов печи (футеровки, кожуха и т.д.), так как разделить их бывает очень сложно.

. Наиболее распространенные схема системы представлена на рис.41.



**РИС. 40 ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ С ДИФФУЗИОННЫМИ НАСОСАМИ: 1 – НАСОС МЕХАНИЧЕСКИЙ ВАКУУМНЫЙ; 2, 3 – КЛАПАН; 4 – ДИФФУЗИОННЫЙ НАСОС; 5 – ЛОВУШКА; 6 – ЗАТВОР; 7 – КЛАПАН ВАКУУМНОЙ ПРОХОДНОЙ; 8 – ОТКАЧИВАЕМЫЙ ОБЪЕМ.**

Принята следующая схема последовательности включения. Включается механический насос 1, открывается клапан 3, после достижения вакуума  $10^{-2}$  –  $10^{-1}$  мм рт. ст. включаются нагреватели

диффузионного насоса 4. С достижением давления  $10^{-4}$  мм рт. ст. замораживается ловушка. После полного замораживания и выхода диффузионного насоса на режим закрывается клапан 3, открывается клапан 7, производится откачка рабочей камеры установки. Как только давление в камере будет  $10^{-2}$ , клапан 7 закрывается, открывается клапан 3 и затвор 6, начинается высоковакуумная откачка камеры.

Выключение производится в следующей последовательности: закрывается затвор 6, размораживается ловушка 5, выключается нагреватель диффузионного насоса 4, при остывании корпуса насоса до  $40...60^{\circ}\text{C}$  прекращается подача воды для охлаждения насоса. Через 5...10 минут закрывается клапан 3, выключается насос 1, открывается клапан 2.

### 12.3 ТРЕБОВАНИЯ К ВАКУУМНЫМ ЭЛЕКТРОПЕЧАМ

---

1. Герметичность – свойство элементов вакуумной системы и их соединений обеспечивать настолько малое проникновение газа, чтобы им можно было пренебречь в рабочих условиях электропечи. О степени герметичности судят по натеканию  $N$ ,  $\text{м}^3\text{Па}/\text{с}$ , которое подсчитывается по формуле:

$$N = V\Delta p/\tau,$$

где  $V$  – общий внутренний объем, в котором определяется натекание,  $\text{м}^3$ ;

$\Delta p$  – изменение давления в печи за время измерения натекания, Па;

$\tau$  – время, в течение которого измерялось натекание, с.

Для измерения натекания, объем откачивают до давления, близкого к рабочему, затем вакуумным затвором герметично отделяют его от откачивающих насосов. По истечению некоторого времени (0,5 – 1 ч.) измеряют давление (температура внутри измеряемого объема в течение опыта должна оставаться постоянной) и по приведенной выше формуле определяют натекание. Поскольку натекание зависит не только от количества газа, попадающего в объем извне, но и от количества газа, десорбирующего со стенок и других элементов конструкции печи, они перед измерением натекания должны быть

хорошо обезгажены путем предварительной чистки, промывки и длительной тренировки под вакуумом.

Нормы на допускаемые натекания не выработаны. Однако. Поскольку натекающие в печь газы приводят к окислению садки, нагревателей и тепловых экранов, натекание должно быть минимально возможным, На основании накопленного опыта можно считать нормальным следующие нормы натекания внешнего воздуха на каждый кубический метр объема печи:

для печей с рабочим давлением  $1 \cdot 10^{-2}$  Па .....  $10^{-3}$  м<sup>3</sup>Па/с  
для печей с рабочим давлением  $10^{-3} - 10^{-4}$  Па .....  $10^{-4}$  м<sup>3</sup>Па/с  
для печей с рабочим давлением  $10^{-5}$  и ниже .....  $10^{-5} - 10^{-6}$  м<sup>3</sup>Па/с

Для того чтобы определить является ли повышенное натекание результатом интенсивного газовыделения из материалов, расположенных внутри вакуумного объема, или оно свидетельствует о наличии течи (под течью понимается отверстие в оболочке, ограничивающей вакуумное пространство, или неплотность в уплотняющих устройствах, через которые атмосферный воздух натекает в печь), проверку на натекание производят несколько раз, причем во время между измерениями натекания внутреннее пространство печи непрерывно откачивают. Если при каждом последующем измерении натекание уменьшается, то это означает, что имеет место повышенное газовыделение, если натекание остается приблизительно постоянным, то печь имеет течь. В этом случае необходимо найти место течи и устранить её. Для этого обычно пользуются способом опресовки, галогенным или гелиевым течеискателями.

При опресовки внутрь испытываемого объема нагнетают воздух, создавая избыточное давление, наносят мыльный раствор на испытываемую поверхность и по образующимся пузырькам определяют место течи. Порядок натекания, который удастся обнаружить этим методом, приблизительно  $10^{-5}$  м<sup>3</sup>Па/с.

При поиске течи с помощью галогенного течеискателя к воздуху, заполняющему испытываемый сосуд, подмешивают галоидосодержащий

газ (фреон) в количестве около 20% объема испытываемого сосуда, т.е. создают внутри сосуда избыточное давление около 0,02 МПа. Затем щупом течеискателя проводят вдоль проверяемых поверхностей. На наличие течи указывает звуковой индикатор и отклонение стрелки прибора.

Обеспечивает обнаружение течей порядка  $10^{-7}$  м<sup>3</sup>Па/с. Недостатки: чувствительность ко всякого рода примесям (табачная примесь, пары растворителей и т.п.)

При отыскании течи гелиевым течеискателем последний подсоединяют к вакуумной системе непосредственно у форвакуумного насоса. Все конструктивные элементы системы обдуваются очень тонкой струей гелия. При наличии течи, гелий проникает внутрь печи в смеси с воздухом и вместе с откачиваемыми газами по вакуумпроводам устремляется к форвакуумному насосу. Часть откачиваемых газов попадает при этом в течеискатель. Последний отклонением стрелки прибора звуком сигнализирует о наличии гелия в газе.

Обеспечивает обнаружение течей  $10^{-12}$  м<sup>3</sup>Па/с.

## 2. Взрывозащищенность.

Иногда происходит быстрое повышение давления и взрыв. Нарастание давления в печи может произойти за счет попадания в разогретое рабочее пространство воды или масла. Первое происходит при повреждении сварного шва полости водяного охлаждения, второе – если остановить ротационный насос и не перекрыть при этом вакуумпровод, соединяющий насос с печью. Для стравливания избыточного давления применяют вакуумные предохранительные клапаны.

## 2. Электрическая прочность изоляции.

## 3. Вакуумная гигиена.

Это сумма мер по обеспечению чистоты элементов вакуумных систем с целью получения требуемого вакуума:

- а.) требования по содержанию помещений;
- б.) требования по содержанию элементов конструкции печи;
- в.) требования по личной гигиене обслуживающего персонала.

## 12.4 КЛАССИФИКАЦИЯ ВАКУУМНЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.

Вакуумные печи целесообразно разделить на низкотемпературные (до 1150°C), среднетемпературные (1150—1600°C) и высокотемпературные (выше 1600°C).

Кратко рассмотрим конструктивные особенности печей каждого класса. В табл. 3 приведены основные характеристики некоторых печей в печах указанного класса.

**ТАБЛИЦА 7 ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ВАКУУМНЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ**

Тип печей	Рабочая температура, °С	Материал основных элементов печи		Остаточное давление, Па	Размеры рабочего пространства, м			Примечание
		Нагревателей	Теплоизоляции		Диаметр или ширина	Длина	Высота	
Низкотемпературные								
СЭВ-3.3/11,5ФМ2	1150	Сплавы сопротивления	шамот	10 <sup>-1</sup>	0,3	-	0,3	Возможна закалка в масле и в газе
СЭВ – 5.5/11,5 Ф					-	-	Возможна закалка в газе	
СНВ-5.10.5/11,5Ф					0,5	1,0	0,5	Возможна закалка в газе и в масле
СНВ-5.15.5/11,5					1,5	-	-	
СШВ- 8.8/9Э	900	Сплавы сопротивления вне рабочего пространства	Экраны из нержавеющей сталей	10 <sup>-2</sup>	0,8	-	0,8	-
СНВ-22.90-4,5/9Э			10 <sup>-1</sup>	2,2	9	0,45		
ОКБ-1371А			10 <sup>-2</sup>	0,27	10	-		
1СШВ-3.100/9			Шамот вне рабочего пространства	10 <sup>-2</sup>	0,3	-	10	Муфельная шахтная
ОКБ-8039	800	молибден	Экраны из молибдена и нержавеющей стали	10 <sup>-7</sup>	0,3	0,7	-	Сверхвысоковacuумная
Среднетемпературные								
СШВ-3.3/13Г	1300	графит	графит	10 <sup>-1</sup>	0,3	-	0,3	Возможна закалка в газе

СНВ3.6.3/13Г						0,6		Возможна закалка в газе и в масле
СГВ-2.4/15	1500	молибден	Экраны из вольфрам	$10^{-2}$	0,2	-	0,4	-
СНВ-1.3.1/16Э	1600	вольфрам			0,1	0,3	0,1	
СЭВ-8.8/16ЭМ1		молибден	а и нержавею щих сталей	$10^{-3}$	0,8	-	0,8	
СШВ-15.15/13ЭМ2	$10^{-2}$			1,5	-	1,5		
СЭВ – 5.10/13Э	1300	молибден		$10^{-5}$	0,5	-	1	сверхвысоков вакуумная
Высокотемпературные								
СШВ-1.2,5/25ЭМ1	2500	вольфрам	Экраны из вольфрам	$10^{-2}$	0,1	-	0,25	-
СЭВ-1.2/22Э	2200			а и молибден		$10^{-6}$	-	0,2
СЭВ-2,5,5/22Э			0,25		-		0,5	
СШВ-2.20/20	2000		а	$10^{-2}$	0,2	-	2	-
СЭВ-3.6/22ГМ3	2200	графит	графит	$10^{-1}$	0,3	-	0,6	
СЭВ-8.8/22М02				$10^{-2}$	0,5	-	0,5	

*Низкотемпературные печи.* Для различных видов термической обработки сталей, кроме быстрорежущих, можно рекомендовать печи с нагревателями из сплавов сопротивления на шамотной футеровке. В этих печах можно осуществлять загрузку к выгрузку изделий при рабочей температуре в нагревательной камере.

Нагревательная камера одной из таких печей представлена на рис. 2. Особенно заметны преимущества этих печей при нагреве титановых слитков под обработку давлением (ковку, прокатку, прессование). Схема такой печи с выдвижным подом показана на рис. 3.

Для отжигов различных видов, в том числе обезгаживающих, титана, циркония и их сплавов могут быть использованы электропечи с экранной теплоизоляцией и муфельные печи (табл. 3). Имеются печи для нагрева изделий длиной до 10 м, отжигаемых как в вертикальном, так и в горизонтальном положениях.

*Среднетемпературные печи.* По используемым материалам их можно подразделить на две группы: печи на основе тугоплавких металлов, обычно с экранной теплоизоляцией, и печи на основе графита. Печи на основе графита в основном предназначаются для закалки высоколегированных сталей {типа быстрорежущих}, печи на основе тугоплавких металлов - для различных видов отжига.

*Высокотемпературные печи.* Для этих печей могут быть использованы те же материалы, что и для среднетемпературных печей. Для отжига длинномерных изделий можно использовать многозонные шахтные электропечи (рис. 4, табл. 3). На рис. 5 представлена схема одной из наиболее массовых малых электропечей — СШВ—1,2,5/25 ЭМ1.

Особо следует отметить сверхвысоковакуумные электропечи (до  $10^{-6}$  Па), конструкция которых позволяет осуществлять загрузку и выгрузку изделий без нарушения вакуума в нагревательной камере. Эти печи откачивают безмасляными средствами.

Конструкции электропечей для вакуумной термообработки

Вакуумные печи выполняются конструктивно как камерные садового типа, так и проходными, шахтными, элеваторными, с выкатными тележками. Причем ряд конструкций печей представляют возможность проведения закалки деталей как в потоке инертного газа (азот, аргон, и т.п.), так и в закалочном масле.

У камерных печей торцевая стенка (тарельчатого вида) одновременно является дверцей закрывающей загрузочное окно с первоначальным уплотнением. Дверца открывается по радиусу или поднимается, или откатывается, обеспечивая свободный доступ, как для загрузки садки, так и для контроля камеры нагрева.

Одним из сложнейших проблем термической обработки в вакуумных печах – охлаждение – решено благодаря разработки печей с принудительным газовым или масляным охлаждением. Такие печи оснащены двумя приводами. Один привод перемещает загрузочный стол к камере нагрева, второй перемещает стол закалочной ванны. Наличие отдельных приводов обеспечивает то, что загрузочный стол не погружается в масляную ванну. Это препятствует короблению стола, а также загрязнению внутренней полости печи парами масла. Для охлаждения и сокращения содержания масляных паров как в масляной ванне, так и в газовой среде, в камере монтируются вентиляторы, обеспечивающие направленный поток.

Ввиду того, что закалочное масло находится под влиянием пониженного давления, применяют лишь стойкие против испарения сорта масла.

Массовое и крупносерийное производства в машиностроении способствовали развитию вакуумных печей непрерывного действия. Эти печи имеют высокую производительность при значительно меньшем расходе электроэнергии. Загрузка и выгрузка деталей осуществляется через шлюзовые камеры, что обеспечивает постоянный вакуум и температуру в рабочем объеме печи.

Учитывая, что в вакууме при рабочих температурах резко понижается коэффициент трения из-за диффузного сваривания металла, механизмы выносят из рабочей камеры, а поддоны и направляющие рельсы изготавливают из графита. Для термического упрочнения применяют вакуумные печи двух различных типов: с наружным обогревом камеры нагрева и с нагревателями в рабочей камере. В печи с наружным обогревом обрабатываемые детали находятся в вакуумной реторте, обогреваемой снаружи. Нагреватель располагается на воздухе под атмосферным давлением. Такие печи применяют для процессов с предельной температурой 1100°C. Чтобы снизить давление на рабочую реторту, в последних конструкциях пространство между кожухом печи и ретортой вакуумируют. Благодаря такому конструктивному решению начато строительство крупных печей с наружным обогревом, их обычно изготавливают двухкамерными, из которых одно всегда находится под нагревом, а вторая является камерой загрузки и охлаждения. Вакуумные реторты изготавливают из хромоникелевых сталей с содержанием 10-20% никеля и 20-25% хрома.

В вакуумной печи с внутренним нагревом обрабатываемые детали и нагреватели находятся в вакуумной камере, состоящей из двойной охлаждаемой водой емкости. В этой печи изоляция рабочей камеры осуществляется при помощи керамики, графита или металлического теплового экрана.

Следует учесть, что при загрузке садки в печь с керамической изоляцией происходит интенсивное насыщение кладки влагой и значительно возрастает время на достижение вакуума. Для получения более глубокого разряжения и ускорения откачки необходимо

керамическую изоляцию выполнять таким образом, чтобы температура её наружной стенки была не ниже 200-300°C.

В качестве теплоизоляции применяют графитовый фетр и графитовый войлок, обладающие малым коэффициентом теплопроводности. Они не становятся хрупкими в процессе работы, так как их механическая прочность практически не меняется с нагревом, обладают очень незначительной аккумулированной теплотой, не содержат выделяющих газ компонентов и не дают усадки.

В печах с экранной теплоизоляцией, как правило, для изготовления экранов нагревателей применяют при нагреве до 1700°C молибденовую или вольфрамовую при нагреве до 2700°C фольгу или прутки. Экран, изготовленный из рифленого молибдена и коррозионностойкой стали, окружающей рабочий объем печи, сводит тепловые потери до минимума. Экран заключен в кожух из коррозионностойкой стали.

В вакуумной печи с нагревателями внутри камеры температура может достигать 2000-2800°C. Большинство печей с внутренним нагревом оснащены нагревателями сопротивления или индукционного нагрева. Нагреватели сопротивления в зависимости от номинальной температуры печи изготавливаются из хромоникелевых сплавов, молибдена, тантала, вольфрама и графита.

В целях исключения электрического пробоя, наиболее легко наступающего при повышенных температурах в вакууме, все печи работают на пониженном напряжении. Регулировка рабочего напряжения осуществляется установкой автотрансформатора, либо магнитного усилителя, либо тиристорного регулятора.

Разработанные конструкции вакуумных электропечей обеспечивают рабочее давление порядка  $10^{-1} - 10^{-5}$  мм рт.ст. В печах с экранной теплоизоляцией из молибденовой или вольфрамовой фольги не разрешается во время работы печи снижать вакуум в рабочем пространстве ниже  $5 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст. При теплоизоляции из керамики рабочий вакуум не превышает  $10^{-3}$  мм рт.ст.

Кратко рассмотрим конструктивные особенности печей каждого класса. В табл. 3 приведены основные характеристики некоторых печей.

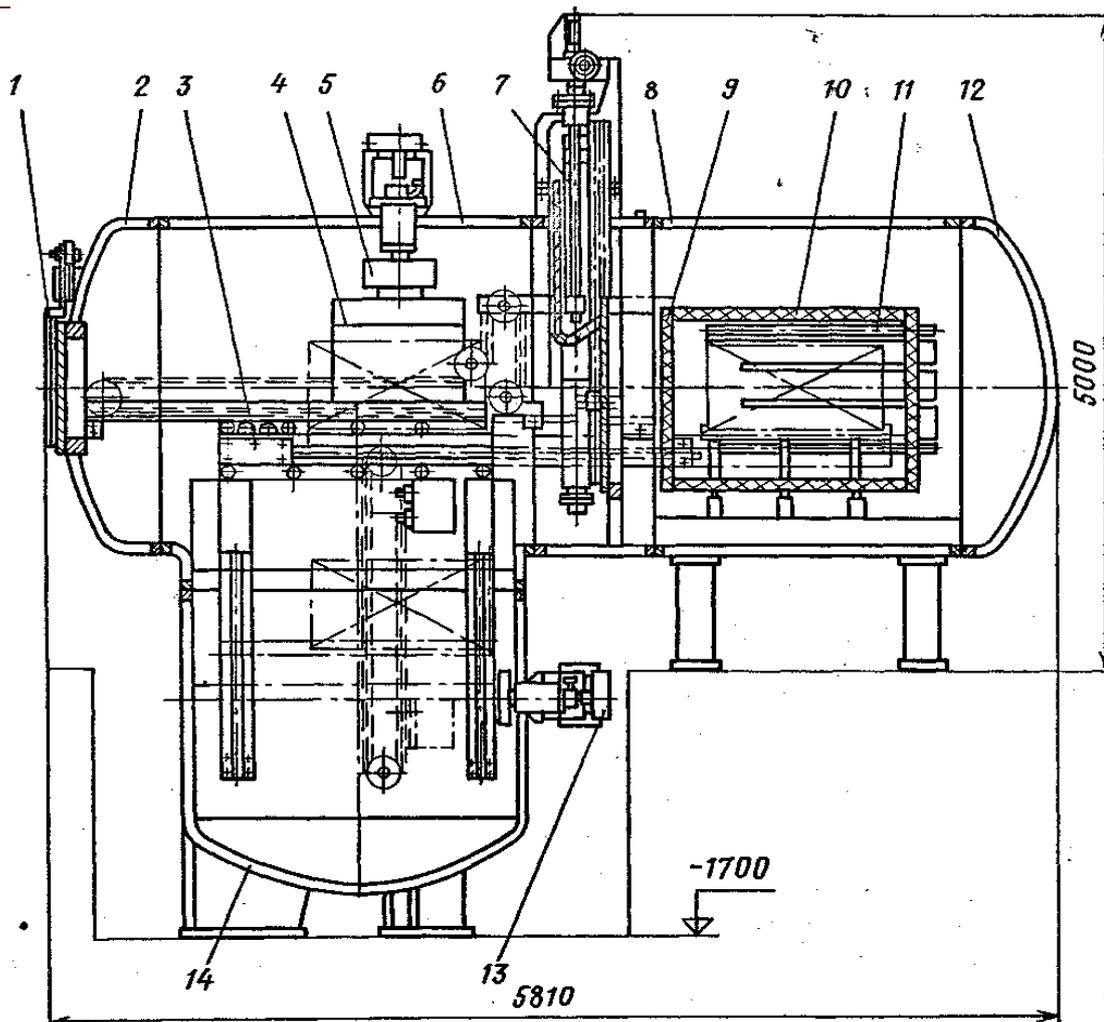
*Низкотемпературные печи.* Для различных видов термической обработки сталей, кроме быстрорежущих, можно рекомендовать печи с нагревателями из сплавов сопротивления на шамотной футеровке. В этих печах можно осуществлять загрузку и выгрузку изделий при рабочей температуре в нагревательной камере. Нагревательная камера одной из таких печей представлена на рис. Особенно заметны преимущества этих печей при нагреве титановых слитков под обработку давлением (ковку, прокатку, прессование). Схема такой печи с выдвижным подом показана на рис. Для отжигов различных видов, в том числе обезгаживающих, титана, циркония и их сплавов могут быть использованы электропечи с экранной теплоизоляцией и муфельные печи (табл.). Имеются печи для нагрева изделий длиной до 10 м, отжигаемых как в вертикальном, так и в горизонтальном положениях.

*Среднетемпературные печи.* По используемым материалам их можно подразделить на две группы: печи на основе тугоплавких металлов, обычно с экранной теплоизоляцией, и печи на основе графита. Печи на основе графита в основном предназначаются для закалки высоколегированных сталей {типа быстрорежущих}, печи на основе тугоплавких металлов - для различных видов отжига.

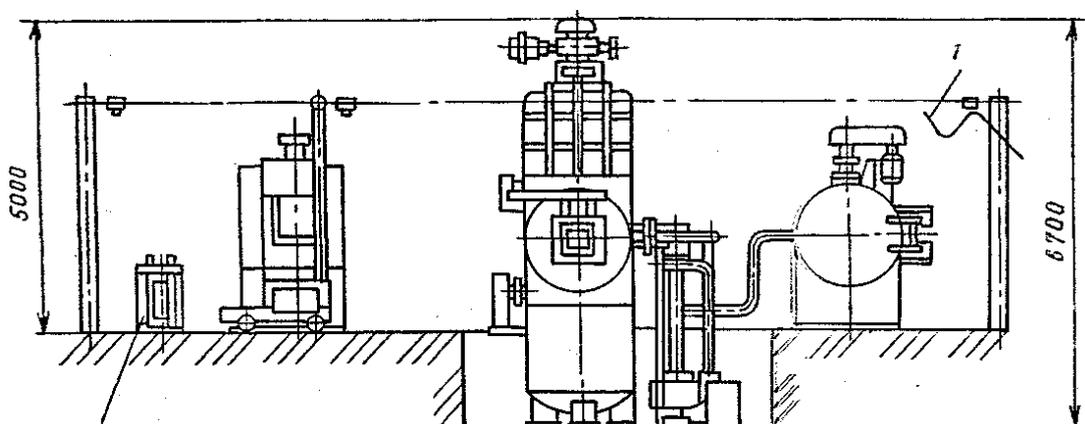
*Высокотемпературные печи.* Для этих печей могут быть использованы те же материалы, что и для среднетемпературных печей. Для отжига длинномерных изделий можно использовать многозонные шахтные электропечи. На рис. представлена схема одной из наиболее массовых малых электропечей – СШВ 1.2,5/25 ЭМ1.

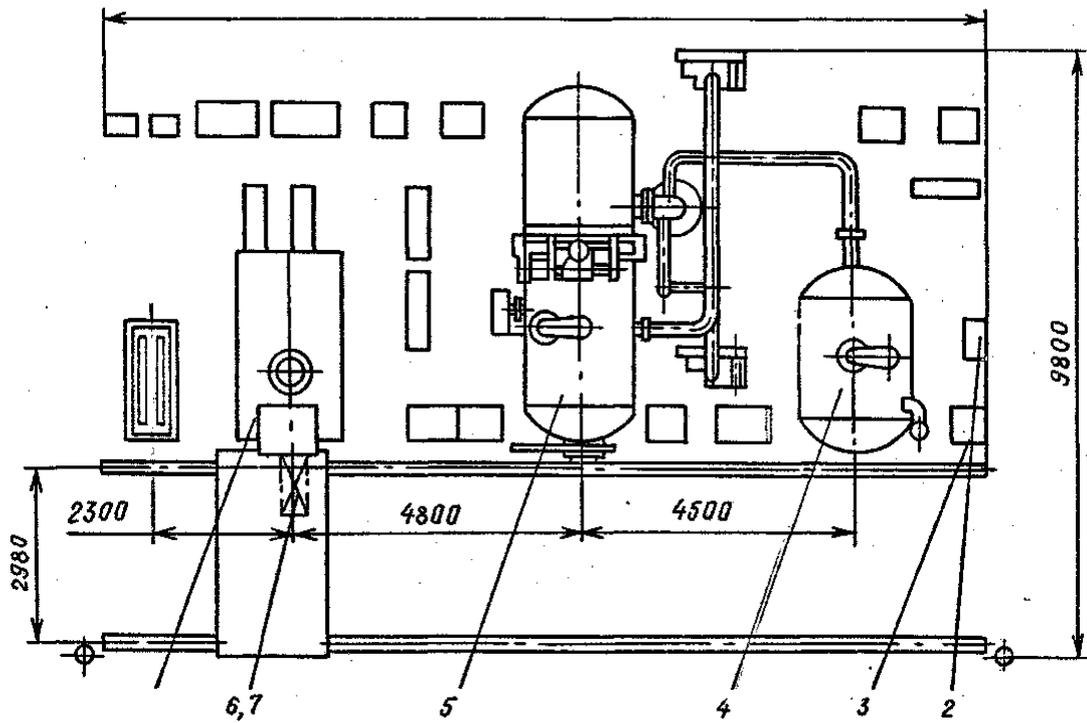
Особо следует отметить сверхвысоковакуумные электропечи (до  $10^{-6}$  Па), конструкция которых позволяет осуществлять загрузку и выгрузку изделий без нарушения вакуума в нагревательной камере. Эти печи откачивают безмасляными средствами.

## 12.5 КАМЕРНЫЕ ВАКУУМНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ



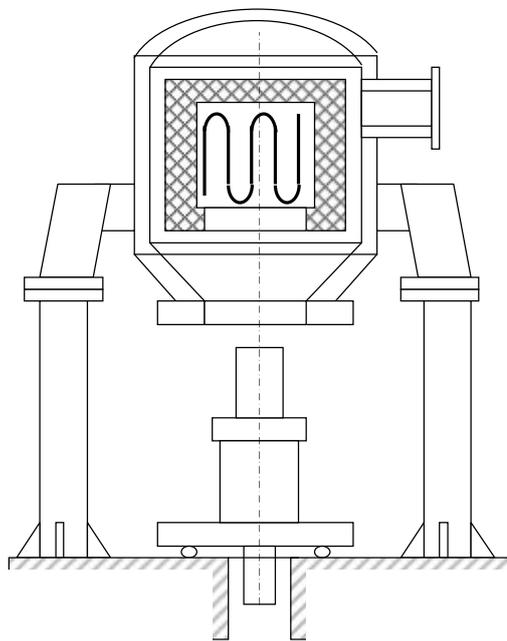
**РИС. 41** ПРОДОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ СНВ-5.10.1/13И1: 1 - ДВЕРЦА; 2, 12 - КРЫШКА; 3 - МЕХАНИЗМ СТОЛА ЗАКАЛОЧНОГО БАКА; 4 - ОХЛАДИТЕЛЬ; 5 - ВЕНТИЛЯТОР; 6, 8, 14 - ВОДООХЛАЖДАЕМЫЙ КОРПУС; 7 - ЗАТВОР ВАКУУМНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ; 9 - ЗАСЛОНКА; 10 - ФУТЕРОВКА КАМЕРЫ НАГРЕВА; 11 - НАГРЕВАТЕЛЬ; 13 - МЕШАЛКА

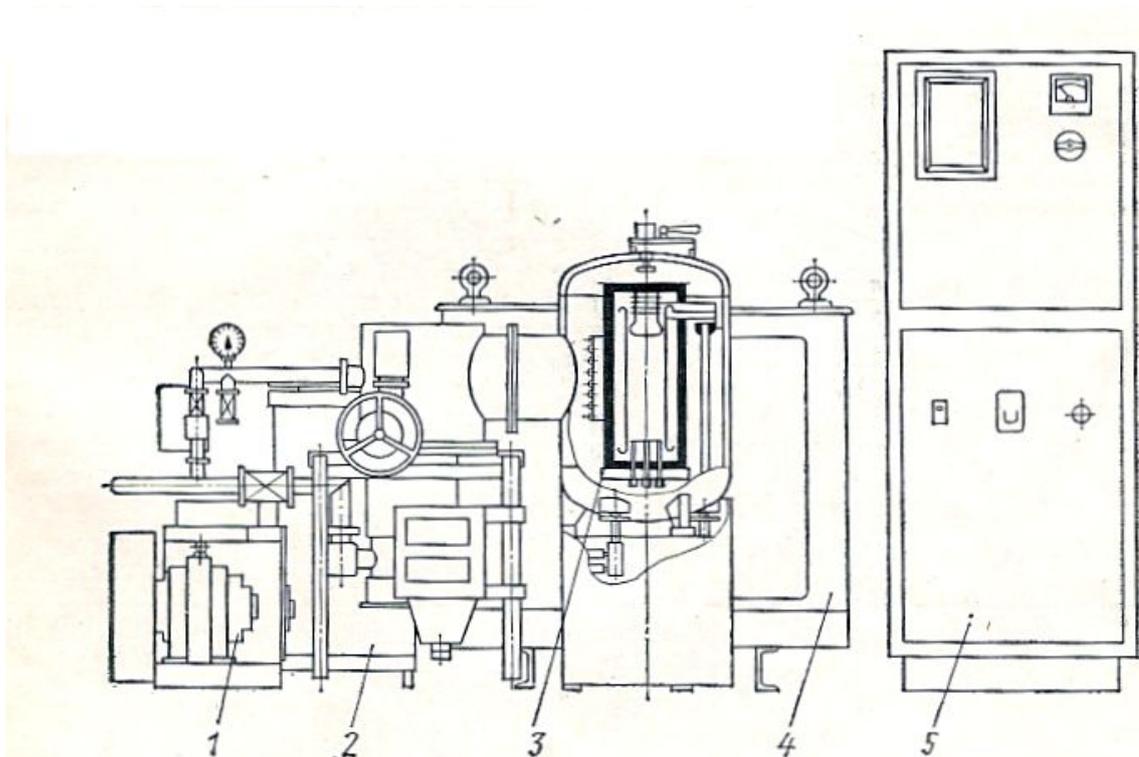




**РИС. 42 АГРЕГАТ ШВА-5.10.5/7И1**  
**1- КАБЕЛЬ КРПТН 3Х2,5+1Х1,5**

## 12.6 ЭЛЕВАТОРНЫЕ ПЕЧИ





**РИС. 43 СХЕМА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ШАХТНОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ: 1 – ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА; 2 – ТИРИСТОРНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ; 3 – НАГРЕВАТЕЛЬНАЯ ХИМИЯ; 4 – ТРАНСФОРМАТОР; 5 – ЩИТ УПРАВЛЕНИЯ.**

## 13 ПЕЧИ-ВАННЫ

### 13.1 ОСОБЕННОСТИ НАГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ В ЖИДКИХ СРЕДАХ

Применение соляных ванн при различных операциях термической и химико-термической обработки обусловлено преимуществами, которыми обладают расплавленные соли:

- ✓ Высокая скорость нагрева из-за высоких коэффициентов теплоотдачи;
- ✓ Высокая равномерность нагрева из-за значительно большей теплопроводностью жидких сред по сравнению с газами;
- ✓ Относительная простота получения высоких температур (до 1300°C);
- ✓ Возможность осуществления местного нагрева;
- ✓ Предохранение поверхности нагреваемых изделий от непосредственного воздействия воздуха;

- ✓ Высокая точность регулирования температуры соляных ванн;
- ✓ Возможность работать при высокой температуре без защитной атмосферы.
- ✓ За последнее время расплавленные соли и щелочи нашли применение в качестве охлаждающих сред при ступенчатой закалке инструментов:
- ✓ Расплавленные соли и щелочи имеют достаточно высокую охлаждающую способность, обеспечивающую при правильном их использовании получение высокой заданной твердости;
- ✓ Замена масла как охлаждающей среды расплавами солей устраняет опасность образования трещин и резко снижает деформацию изделий;
- ✓ Поверхности инструментов при закалке с охлаждением в расплавленных солях получается менее загрязнённой и легче в дальнейшем очищается, чем при охлаждении в масле;
- ✓ Охлаждение в расплавленных солях изделий из углеродистой стали, позволяет избежать образования трещин и мягких пятен, часто возникающих при закалке в воде из-за образования паровой рубашки;
- ✓ Применение щелочей в качестве охлаждающей среды с нагревом в расплавленных солях определённого состава обеспечивает выполнение светлой закалки

### 13.2 КЛАССИФИКАЦИЯ СОЛЯНЫХ ВАНН

В зависимости от требуемой температуры нагрева (или охлаждения) соляные ванны для термической обработки разделяются на три основные группы:

высокотемпературные печи-ванны - 1000...1300°C;

среднетемпературные печи-ванны - 750...900°C;

низкотемпературные печи-ванны - 140...700°C;

Высокотемпературные соляные ванны, содержащие до 100% BaCl<sub>2</sub>, применяют при температурах до 1100...1300 °C для окончательного нагрева под закалку инструментов из быстрорежущей и других

высоколегированных сталей. В поточных автоматических линиях они часто используются также для подогрева инструментов в месте применяемого обычно подогрева при 850°С в расплаве, содержащем хлористые соли бария и натрия. Отсутствие хлористого натрия в ванне предварительного подогрева позволяет устранить занесение его в ванну окончательного нагрева и избежать значительного дымообразования, мешающего измерению температуры расплава радиационными пирометрами.

Среднетемпературными соляными ванны используют для нагрева под закалку инструмента из углеродистой и низколегированных сталей, для подогрева при закалке инструментов из быстрорежущей стали; для нагрева заготовок под ковку или штамповку.

Низкотемпературные соляные ванны, работающие при температурах 140...400°С применяют для нагрева при отпуске инструментов из углеродистых и низколегированных сталей, при охлаждении при ступенчатой закалке.

Соляные ванны, работающие при 400...600°С, применяют для отпуска инструментов из быстрорежущих сталей, при охлаждении при ступенчатой закалке.

Соляные ванны, работающие при 600...700°С, применяют при охлаждении при высокоступенчатой закалке инструмента их быстрорежущей стали, а также при кратковременном отпуске этого инструмента.

По способу нагрева соляные ванны подразделяют на электродные, нагреваемые током, проходящим через расплавленную соль; тигельные с наружным обогревом, тигельные с внутренним обогревом; индукционные с графитовыми нагревателями.

По назначению различают соляные ванны для предварительного подогрева, окончательного нагрева и охлаждения при закалке; для нагрева при отпуске, отжиге и нормализации.

### 13.3 ЭЛЕКТРОДНЫЕ СОЛЯНЫЕ ВАННЫ

---

Соляные ванны этой категории можно разделить на две подгруппы: к первой относятся ванны. Имеющие камеру из

огнеупорного материала; ко второй – электродные соляные ванны с металлическим тиглем (низкотемпературные, среднетемпературные).

Принцип работы электродных соляных ванн заключается в следующем. Нагрев осуществляется электрическим током, проходящим непосредственно через расплавленную соль, с помощью металлических электродов, помещенных в рабочую камеру.

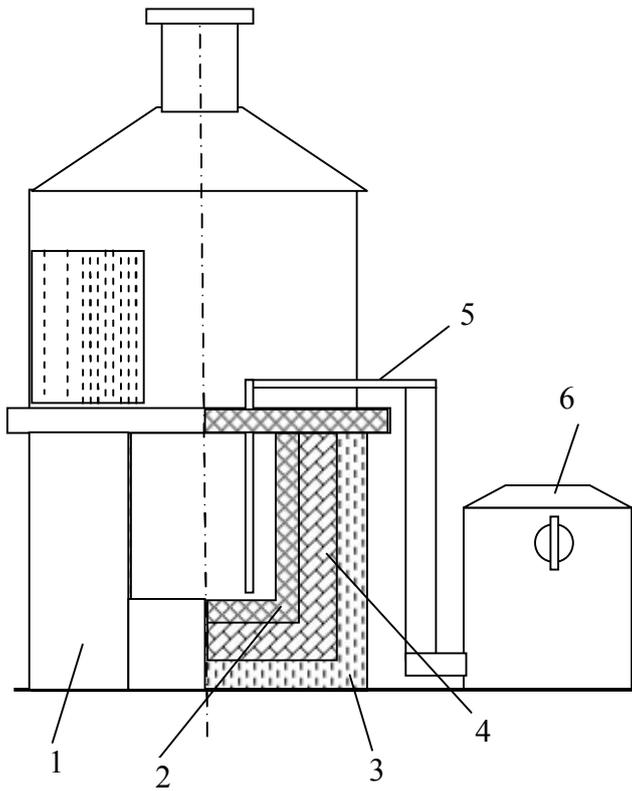
Соль металлов является проводником второго рода. В твёрдом состоянии она почти неэлектропроводна, но в расплавленном виде становится довольно хорошим проводником тока. Так как электросопротивление расплавленных солей высокое. То при прохождении электрического тока выделяется большое количество теплоты, разогревающей соль и позволяющей поддерживать требуемую температуру соляной ванны. Во избежание электролиза соли применяют переменный ток, снижая напряжения до 6 ... 30 В.

#### 13.4 ВАННЫ С КАМЕРОЙ ИЗ ОГНЕУПОРНОГО КИРПИЧА

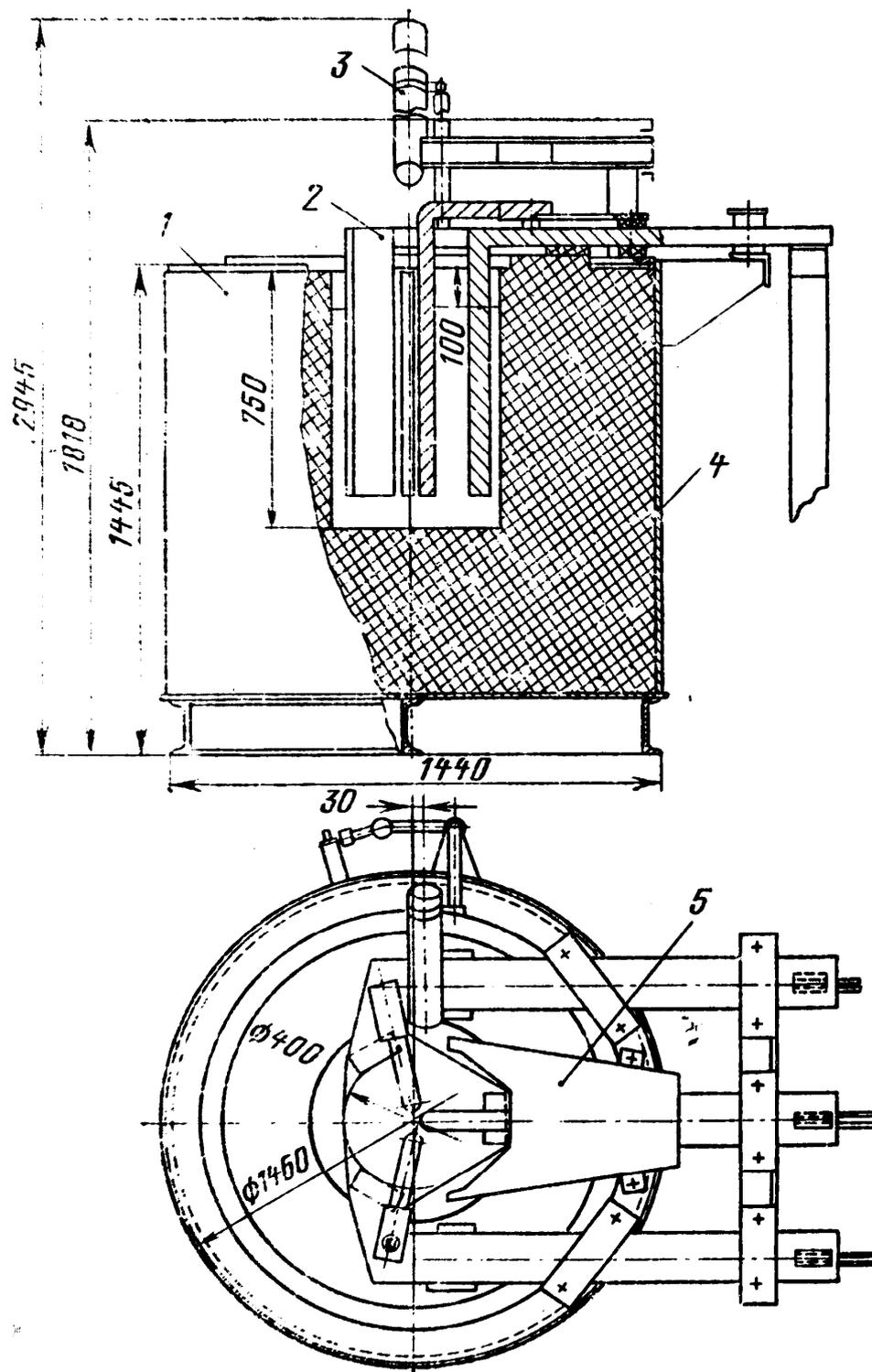
---

Широкое применение в инструментальном производстве имеют электродные соляные ванны с рабочей камерой, выполненной из огнеупорного материала. Обычно заводы мелкосерийного производства изготавливают ванны мощностью 35, 60 и 75 кВт, футеруя рабочее пространство таким образом, что по своей форме, размерам эти ванны соответствовали соляным ваннам С-35 и С-75 (Рис.46) с расположением электродов по трем граням шестигранника.

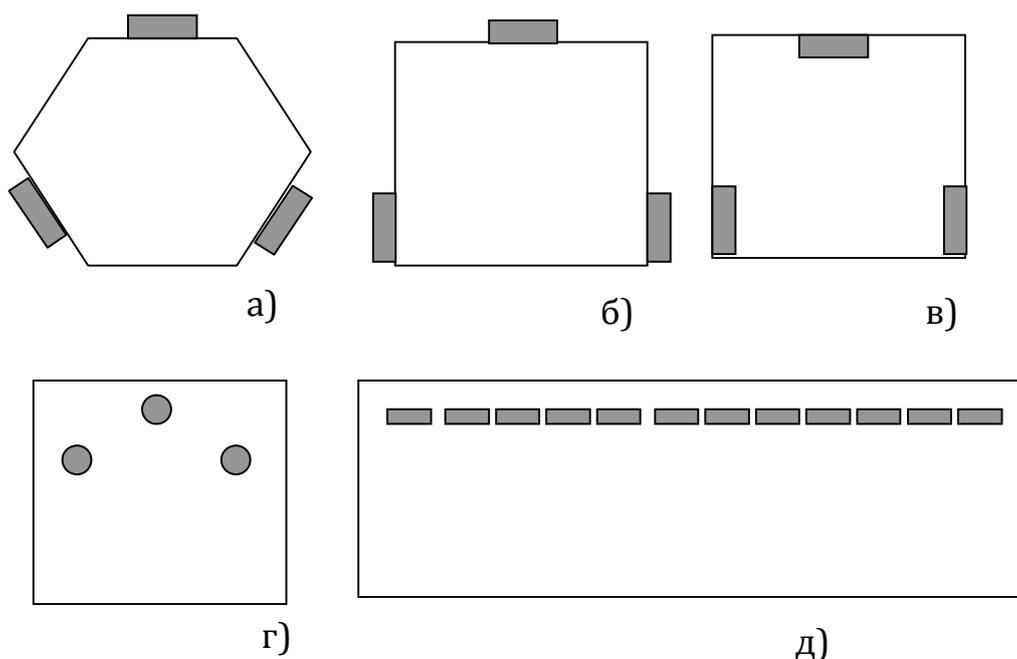
Форма рабочего пространства соляных ванн и схема расположения в них электродов приведена на рис..



**РИС. 44 ЭЛЕКТРОДНАЯ СОЛЯНАЯ ВАННА: 1 - МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ КАРКАС, 2 - РАБОЧАЯ КАМЕРА ИЗ КИРПИЧА, 3 - ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ, 4 - ВНУТРЕННИЙ КОЖУХ, 5 - ЭЛЕКТРОДЫ, 6 - МНОГОСТУПЕНЧАТЫЙ ПОНИЖАЮЩИЙ ТРАНСФОРМАТОР.**



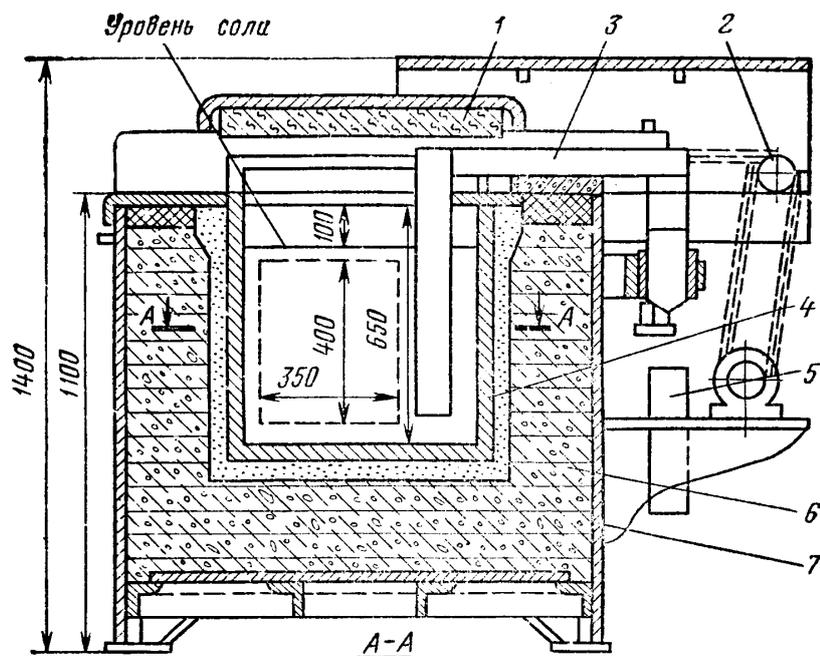
**РИС. 45 ЭЛЕКТРОДНАЯ СОЛЯНАЯ ВАННА СВС – 2.5/13 1 – ФУТЕРОВКА; 2 – ЭЛЕКТРОД; 3 – ПИРОМЕТР; 4 – КОЖУХ; 5 – ВЕНТИЛЯЦИОННЫЙ КОЖУХ**



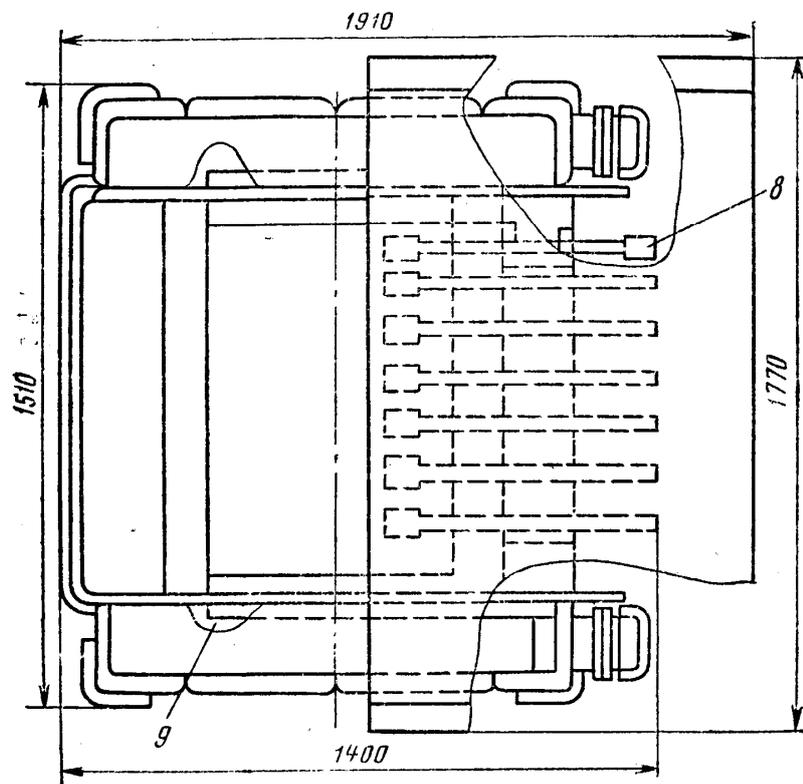
**РИС. 46 ФОРМА РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА СОЛЯНЫХ ВАНН И СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ В НИХ ЭЛЕКТРОДОВ: А,Б – ВАННЫ С ТРЕМЯ ЗАДЕЛАННЫМИ В КЛАДКЕ ПЛОСКИМИ ИЛИ КВАДРАТНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ; В) – ВАННА С ТРЕМЯ СВОБОДНО ОПУЩЕННЫМИ ПЛОСКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ; Г) ВАННА С ТРЕМЯ СВОБОДНО ОПУЩЕННЫМИ КРУГЛЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ; Д) ВАННА С ШЕСТЬЮ ПАРАМИ ПЛОСКИХ СВОБОДНО ОПУЩЕННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ.**

### 13.5 ВАННЫ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТИГЛЕМ

Ванны этой категории отличаются большим разнообразием конструкций. Из выпускаемых отечественной промышленностью наибольшее значение имеют трёхфазные ванны двух типов СВС – 4.8.4/6,5-И2 и СВС – 4.8.4/9 – И2 с прямоугольным тиглем (рис. 3).



(Крышка условно не показана)



**РИС. 47 ЭЛЕКТРОДНАЯ СОЛЯНАЯ ВАННА ТИПА СВС – 3,5.8.4./6,5**

**1 – КРЫШКА; 2 – МЕХАНИЗМ ПОДЪЕМА КРЫШКИ; 3 – ЭЛЕКТРОД; 4 – МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ТИГЕЛЬ; 5 – ТОКОПРОВОД; 6 – ФУТЕРОВКА; 7 – КОЖУХ; 8 – ТЕРМОПАРА; 9 – ВЕНТИЛЯЦИОННЫЙ КОЖУХ**

В качестве материала для изготовления электродов широко используют малоуглеродистые стали 10, 15 или 20, более устойчивые против разъедания расплавленной солью, чем применяемые для этой

цели конструкционные стали 45 или 50. В высокотемпературных соляных ваннах электроды, с целью повышения их стойкости в 3...6 раз, в ряде случаев изготавливают из высокохромистых жаропрочных сплавов 12X17, 15X28, хромоникелевых сплавов 12X18Н9Т и др. За рубежом в ваннах данной категории применяют также никелевые электроды, срок службы которых в 3...4 раза превышает обычный. Для предотвращения резкого снижения температуры в момент загрузки изделий объём рабочего пространства соляных ванн выбирают из расчета, чтобы масса расплава превышала массу одновременно загружаемого в ванну металла не менее чем в 10 раз.

### 13.6 ПРАВИЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОДНЫХ СОЛЯНЫХ ВАНН

Перед пуском в эксплуатацию свежеприготовленные электродные соляные ванны должны быть тщательно просушены: с помощью помещенных в их рабочее пространство специального электрического обогревателя; путём сжигания топлива; с помощью нагретых металлических болванок.

Соли для ванн должны быть предварительно высушены при температуре не менее 200<sup>о</sup>С и измельчены.

При розжиге соль насыпают на дно ванны небольшим слоем, закрывающим лишь нижние концы электродов. Розжиг ванны производят при включенном печном трансформаторе на  $U_{вых.} = 18...24$  В. Соль плавится под действием дуги, возникающей между концом добавочного и одним из основных электродов. Затем добавочный электрод извлекают из ванны, трансформатор переключают на более низкую ступень и в ванну добавляют заранее переплавленную соль или новую.

Следует отметить, что при попадании в солевой расплав хотя бы небольшого количества влаги происходит выбрасывание соли из ванны. Чтобы избежать этого, погружаемые в ванну обрабатываемые инструменты должны быть хорошо просушены, а массивные инструменты, кроме того, должны быть обязательно подогреты.

При остановке электродных ванн расплавленная соль вычерпывается железным ковшом, который предварительно также

должен быть хорошо просушен и подогрет; в ванне остается одна четвертая часть объема соли, что обеспечивает возможность последующего запуска её в эксплуатацию.

Соль из ванны сливается в железные сухие изложницы, где дробиться на небольшие куски, которые в дальнейшем используются для добавления в работающие ванны. Иногда расплавленная соль при остановке ванны не сливается, а в ванну помещают выемной блок нагревательных элементов, которые включаются при последующих розжигах печи.

### 13.7 СОЛЯНЫЕ ВАННЫ С ВНЕШНИМ ОБОГРЕВОМ

---

Эти ванны имеют металлический круглый тигель с элементами сопротивления, расположенными на его внешней стороне (Рис. 4). Используются при температуре 140...700оС для охлаждения инструмента при ступенчатой закалке, для нагрева при отпуске и при х.т.о.

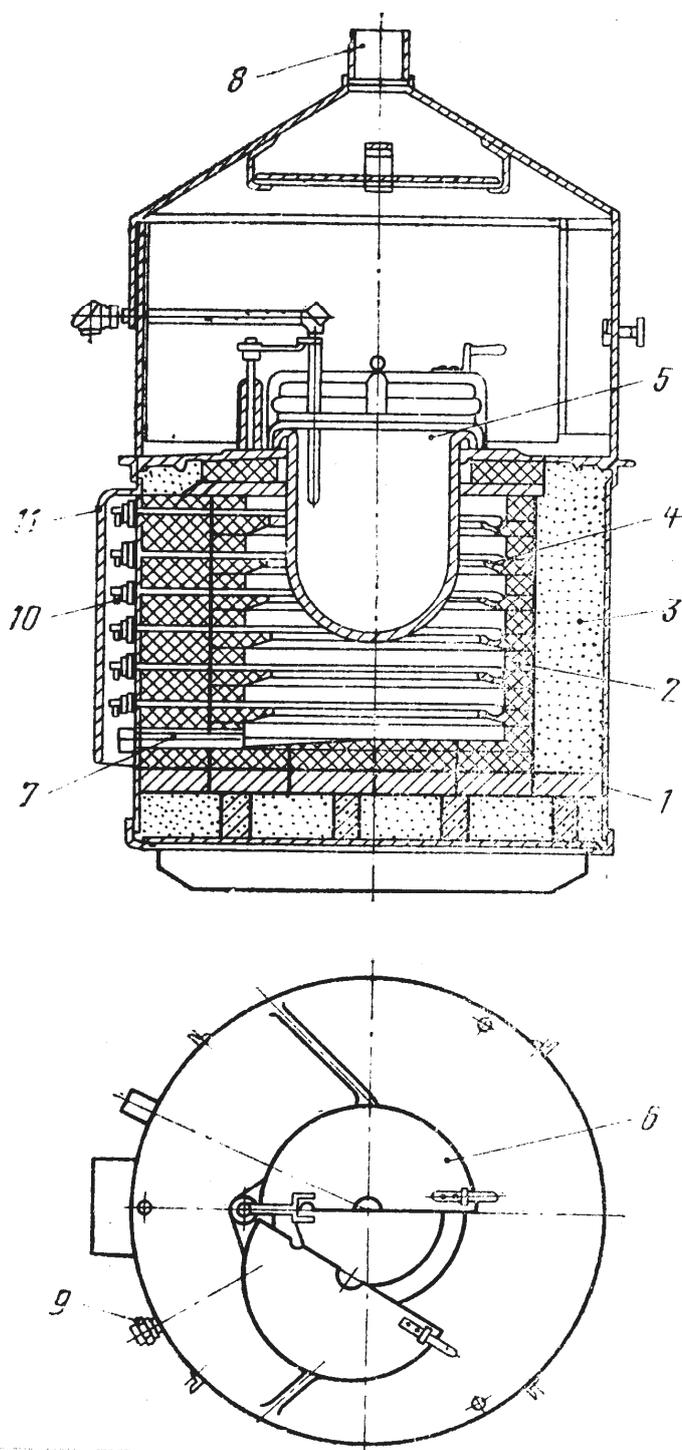
Тигли ванн изготавливают литыми с толщиной стенки 12...30 мм штампованными или сварными. Применяют чугуны, углеродистые стали, жаропрочные сплавы 12Х18Н9Т, 20Х25Н40С2 и др.

В электрических тигельных ваннах с внешним обогревом нагрев соли производится с помощью спиральных и ленточных нагревателей, размещенных в несколько рядов на боковых стенках кладки, иногда нагрев производят с помощью карборундовых стержней.

Обычно эти печи имеют диаметр 200...400 мм и небольшую мощность 10...30 кВт.

При термической обработке иногда применяют тигельные ванны с газовым обогревом.

Основным недостатком всем тигельных печей с внешним обогревом является малая производительность и сравнительно непродолжительный срок службы тиглей и нагревателей.



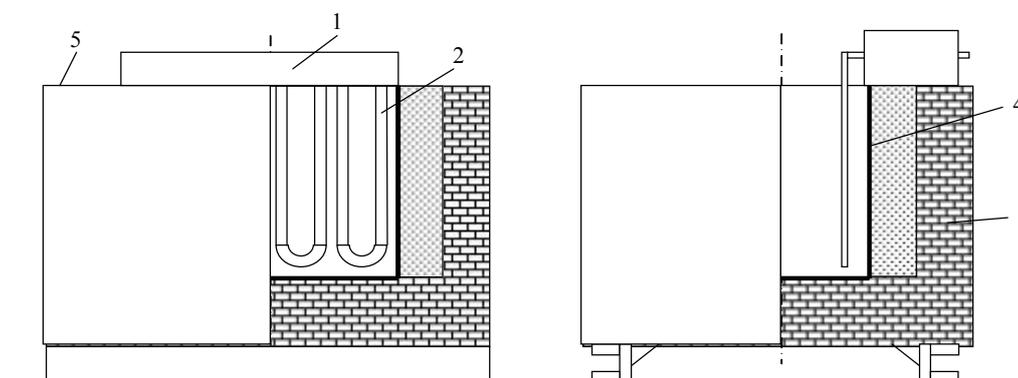
**РИС. 48 СОЛЯНАЯ ВАННА С НАРУЖНЫМ НАГРЕВОМ ТИПА СВГ – 1,5.2,0/8,5 : 1 – КОЖУХ; 2 – ФУТЕРОВКА; 3 – ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ СЛОЙ; 4 – НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ; 5 – МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ТИГЕЛЬ; 6 – КРЫШКА; 7 – ТЕРМОПАРА, УСТАИАНОВЛЕННАЯ В ЗОНЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ; 8 – ВЕНТИЛЯЦИОННЫЙ ЗОНТ; 9 – ТЕРМОПАРА, УСТАНОВЛЕННАЯ В РАБОЧЕМ ОБЪЁМЕ; 10 – ТОКОПОДВОД; 11 – КОЖУХ ЗАЩИТНЫЙ.**

Нагрев осуществляется переменным током (напряжение 220 или 380 В) с помощью трубчатых электронагревателей, состоящих из цельнотянутых труб диаметром 15...40 мм, в которых помещена нихромовая спираль, изолированная от стенок трубы каким-либо непроводником (кристаллический оксид магния). Путём изгиба в нагретом состоянии трубчатым электронагревателям придают удобную для использования U-образную форму.

Ванны с внутренним обогревом по сравнению с ваннами с внешним обогревом при одинаковых размерах рабочего пространства имеют меньшие теплопотери, следовательно, меньший расход электроэнергии. Внутренний подогрев более безопасен, так как при этом менее вероятен перегрев ванны из-за загрязнений нижних слоев соли.

**ТАБЛИЦА 8 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАННЫ**

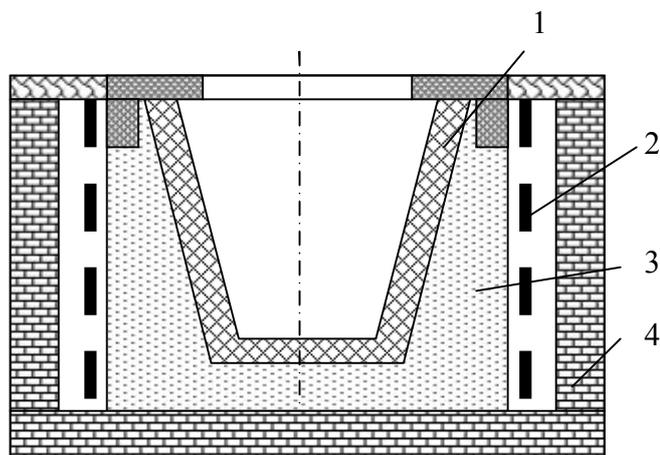
Рабочая температура, °С .....	180...220
Максимальная масса садки, кг .....	500
Мощность, кВт .....	70
Напряжение сети, В .....	380
Объем расплава, м <sup>3</sup> .....	2,57
<b>Размеры рабочего пространства, мм</b>	
Длина .....	1200
Ширина .....	890
Глубина .....	1250
Масса ванны, т .....	8,1



**РИС. 49 СОЛЯНАЯ ВАННА С ТРУБЧАТЫМИ НАГРЕВАТЕЛЯМИ**  
**1 – КРЫШКА ПЕЧИ; 2 – ТРУБЧАТЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ; 3 – ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ КИРПИЧ; 4 – МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ТИГЕЛЬ; 5 – КОЖУХ.**

### 13.9 ИНДУКЦИОННЫЕ ПЕЧИ-ВАННЫ С ГРАФИТОВЫМ ТИГЛЕМ

Для преодоления одного из серьёзных недостатков электродных соляных ванн – весьма длительного запуска их в эксплуатацию, (обычно 2-4 часа) – разработана соляная ванна принципиально нового вида – индукционные высоко- (1000...1300°C) и среднетемпературные (700...950°C) соляные ванны с графитовыми нагревателями. В качестве рабочей камеры используют стандартные графитовые тигли ТГ, предварительно обожженные при 900°C с целью повышения их прочности.



**РИС. 50 ПРОДОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ ИНДУКЦИОННОЙ СОЛЯНОЙ ВАННЫ**  
**1 – ГРАФИТОВЫЙ ТИГЕЛЬ ТГ-50; 2 – ИНДУКТОР МЕДНЫЙ (ТРУБКИ 15Х20**  
**ММ); 3 – «ПОСТЕЛЬ»; 4 – ТЕПЛОИЗОЛЯТОР.**

Графитовый тигель с солью требуемого состава помещается в высокочастотное электромагнитное поле, создаваемое индуктором установки ТВЧ. Под действием индуктируемого тока графитовый тигель интенсивно разогревается, а выделяемая при этом в большом количестве теплота передается содержащейся в тигле соли, которая быстро расплавляется и нагревает изделия.

Чтобы в случае разрушения графитового тигля предотвратить прорыв расплавленной соли через кожух печи вокруг тигля устраивают специальную набивку или «постель» (кварцит, кварцевая пыль и 1,5% борной кислоты). Под действием теплоты материал постепенно спекается в монолит, устойчивый против разрушения и достаточно плотный.

### 13.10 СОЛИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СОЛЯНЫХ ВАННАХ

---

Требования, предъявляемые к солям для соляных ванн и правила их использования

В твердом состоянии соль должна устойчиво сохраняться без разложения при длительном хранении на воздухе;

Быть малогигроскопичными;

Хорошо растворяться в воде (застывшая соль должна легко удаляться с поверхности обрабатываемых изделий);

Не должна оказывать интенсивное коррозионное воздействие на используемое оборудование;

В расплавленном состоянии должна обладать небольшой летучестью, высокой жидкотекучестью, хорошей теплопроводностью и быть достаточно инертными по отношению к погружаемым в них изделиям, чтобы не вызывать разъедания;

Должны обладать высокой электрической проводимостью в расплавленном виде и не разлагаться под действием проходящего через них переменного электрического тока.

В зависимости от физико-химических свойств каждую соль или смесь солей можно применять только в определенном, сравнительно узком интервале температур, в котором она достаточно жидкотекучая, не обладает чрезмерной летучестью, не вызывает разъедания поверхности изделий. Интервалы изменения рабочих температур для каждой соли или смеси солей не превышают обычно 200...400°C.

Нижняя граница температурной области применения солей должна быть на 40...70°C выше температуры плавления.

В соляных ваннах применяются так называемые РЕКТИФИКАТОРЫ солевых расплавов, назначение которых является очистка этих расплавов от различных оксидов, образующихся в процессе эксплуатации ванн при высоких температурах, и предупреждение благодаря этому обезуглероживания нагреваемых изделий.

Материалы, применяемые в качестве ректификаторов нагреваемых соляных ванн, должны отвечать следующим требованиям:

Эффективно защищать поверхность нагреваемых изделий от обезуглероживания продолжительное время;

Не разъедать поверхность нагреваемых изделий и возможно менее интенсивно воздействовать на материал кладка, электродов и тиглей соляных ванн;

Быть устойчивыми против воздействия атмосферного воздуха;

Не вызывать брызг расплавленной соли при их введении в ванну;

Быть неядовитыми.

Свойства солей и материалов, применяемых в соляных ваннах

Хлористые соли. Применяют те соли, которые обладают высокими температурами плавления, малой летучестью, устойчивы против разложения при нагреве и инертны относительно железа и его сплавов. К ним относятся хлористые соли натрия (NaCl), калия (KCl) и бария (BaCl<sub>2</sub>).

Хлористые соли кальция (CaCl<sub>2</sub>) и магния (MgCl<sub>2</sub>) имеют высокую гигроскопичность, способствуют коррозии железа, неудобны при хранении – применяют только при необходимости использования низкой температуры плавления смеси этих солей.

Хлористый стронций (SrCl<sub>2</sub>) и литий (LiCl) обладают тем же комплексом свойств, что и хлористый натрий, калий и барий, но имеют значительно более низкую температуру плавления, однако они дороги и дефицитны, поэтому применяются редко.

Фтористые соли. Применяют фтористые соли магния (MgF<sub>2</sub>), натрия (NaF), кальция (CaF<sub>2</sub>), бария (BaF<sub>2</sub>) и калия (KF).

Эти соли тугоплавки и сравнительно устойчивы против разложения при нагрев, они используются в виде добавок к хлористым солям для повышения жидкотекучести и для предохранения нагреваемой стали от обезуглероживания.

Углекислые соли. Применяют углекислый натрий (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) и калий (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) в виде добавок к хлористым солям для понижения температуры плавления или уменьшения коррозионного воздействия расплава на обрабатываемый инструмент с целью получения более чистой поверхности.

Существенным недостатком углекислых солей является их высокая летучесть и значительное обезуглероживающее воздействие.

Азотнокислые, азотистокислые и фосфорнокислые соли.

Используют как в отдельности, так и в виде двойных и тройных смесей, которые имеют низкие температуры плавления, высокую устойчивость против разложения и хорошую растворимость в воде.

К недостаткам этих солей относятся опасность их самовозгорания и взрыва при перегреве.

Цианистые соли. Широко используются при цианировании, карбонитрации. Важное значение имеют цианистый калий (KCN) и натрий (NaCN).

Борнокислые соли, борная кислота, бораты. Применяют в качестве ректификаторов высоко- и среднетемпературных соляных ванн, где окисляют низшие оксиды до высших и переводят их в шлам. Это способствует защите нагреваемых изделий от обезуглероживания поверхности.

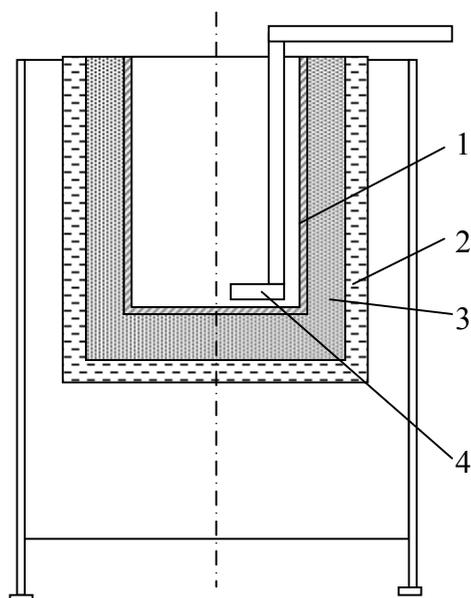
Синтетические шлаки, их свойства и условия применения

Помимо расплавленных солей, для нагрева при термической обработке применяют расплавленные синтетические шлаки типа флюсов, используемых при сварке: АН-ШТ2 (780...880°C) и АН-ШТ1 (870...1150°C). Их основу составляет борный ангидрид.

Преимущества шлаков заключается в том, что внесение в них воды на изделиях или приспособлениях не вызывает выбросов шлакового расплава, так как на попадание воды шлаковая ванна не реагирует. Вязкость шлаков зависит от температуры, но в рабочем интервале температур соответствует технологическим требованиям. Летучесть шлаков при 850°C значительно ниже, чем летучесть солей эвтектической смеси 78% BaCl<sub>2</sub> + 22% NaCl, однако вынос шлака из ванны выше выноса соли в 2,5...3,0 раза.

Расплавленные синтетические шлаки интенсивно растворяют оксиды железа и хрома, в результате чего их свойства ухудшаются: постепенно шлаки густеют, понижается их жидкотекучесть, изменяется цвет, в десятки раз возрастает разъедающее воздействие шлаков на металл, шлак становится непригодным к работе. Кроме того, шлаки быстро разрушают огнеупорную футеровку, применяемую в электродных ваннах.

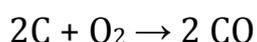
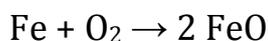
В целях расширения применения шлаковых расплавов Институтом электросварки им. Е.Патона были спроектированы специальные электродные печи-ванны принципиально новой конструкции, в которых отсутствуют огнеупоры: «Магма- 1» и «Магма – 2».



**РИС. 51 СХЕМА ЭЛЕКТРОДНОЙ ПЕЧИ «МАГМА – 1»: 1 – ТИГЕЛЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ; 2 – ВОДООХЛАЖДАЕМЫЙ КОРПУС; 3 – ТВЕРДЫЙ ШЛАК; 4 – ЭЛЕКТРОД.**

### 13.11 ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ СТАЛИ ПРИ НАГРЕВЕ В СОЛЯНЫХ ВАННАХ

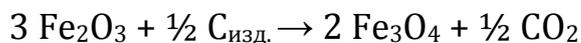
В высокотемпературных соляных хлорбариевых ваннах кислород воздуха, поступающий от зеркала ванны внутрь солевого расплава и далее к нагреваемым стальным изделиям, оказывает прямое воздействие на их поверхность, приблизительно описываемое химическими реакциями:



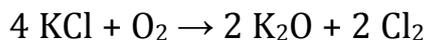
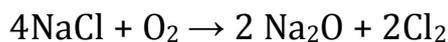
В соляной ванне образуется также  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , которые менее устойчивы, чем  $\text{FeO}$ .



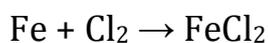
Оксид железа и кислород обезуглероживают сталь, кроме того  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  также обезуглероживает сталь:



Для среднетемпературных соляных ванн, работающих при температуре 700..950°C, в которых содержатся NaCl и KCl:



Выделяющийся Cl<sub>2</sub> оказывает коррозионное действие:



Влага, содержащаяся в воздухе, переходит в солевой раствор:



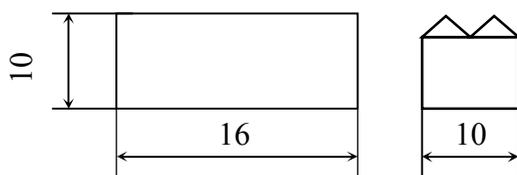
### 13.12 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ РАСПЛАВЛЕННЫХ СОЛЕЙ

---

#### 13.12.1 МЕТОД ОСТРОУГОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

---

Для оценки используются остроугольные образцы



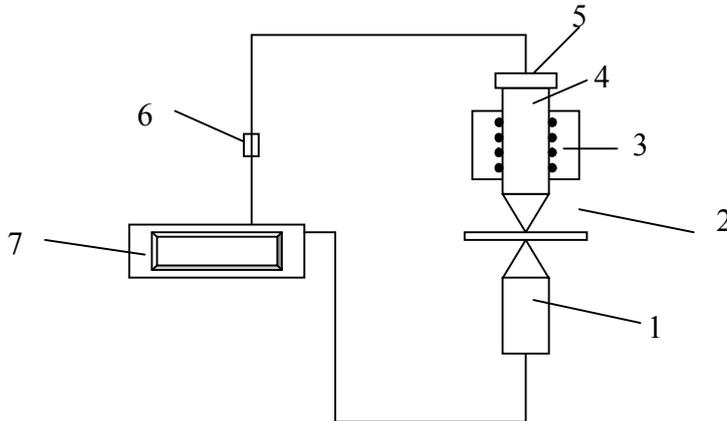
Для получения обезуглероженного слоя образцы нагревают в ванне при температуре закалки в течение 15 минут, затем переносят в ванну с температурой на 10...15°C выше точки M<sub>H</sub> с выдержкой 5...10 минут. Охлаждение до этой температуры сохраняет аустенитную структуру в сердцевине образца, но вызывает частичное мартенситное превращение в обезуглероженном слое. Затем образцы переносят на 10 минут в ванну с температурой 550...600°C, при которой аустенит сохраняется, а мартенсит обезуглероженного слоя отпускается; при охлаждении от 600°C на воздухе сердцевина образца испытывает мартенситное превращение. Поскольку отпущенный мартенсит травится сильнее, чем отпущенный, при травлении шлифа чётко выявляется обезуглероженная зона.

---

### 13.12.2 МЕТОД ФОЛЬГИ

---

Фольга толщиной 0,08...0,12 мм из стали У13 или 13Х выдерживается в ванне 1...10 минут. Содержание углерода определяют или методом химического анализа или ускоренным методом измерения Э.Д.С., возникающей между закалённым стальным образцом и нагретым электродом.



**РИС. 52 СХЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ЭДС ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛЬНОЙ ЛЕНТЫ:**  
**1 – НИЖНИЙ ХОЛОДНЫЙ ЭЛЕКТРОД; 2 – ЗАКАЛЕННАЯ ЛЕНТА; 3 – ПЕЧЬ;**  
**4 – ВЕРХНИЙ ГОРЯЧИЙ ЭЛЕКТРОД; 5 – ГРУЗ; 6 – ШУНТ; 7 – МИКРОАМПЕРМЕТР М95.**

---

### 13.12.3 МЕТОД ПОСЛОЙНОГО ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

---

Определяют послойно содержание углерода в слоях 0,05...0,10 мм, снятых с цилиндрического образца  $d = 20$  мм и длиной 100 мм (сталь 9ХС) после термообработки в ванны в течение 10...15 мин.

---

### 13.12.4 МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

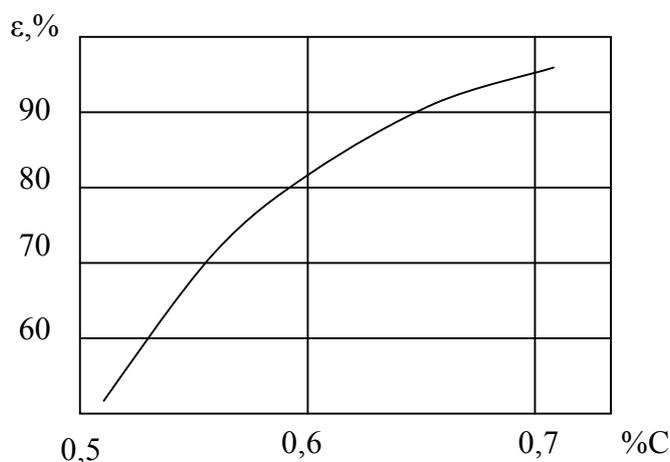
---

Снижение твердости на поверхности инструмента после пробной закалки служит показателем обезуглероживания.

Ректификация соляных ванн и другие способы предупреждения обезуглероживания

При нагреве быстрорежущей стали в ваннах сравнительно редко наблюдается обезуглероживание до феррита. Но для инструментов даже небольшое уменьшение концентрации углерода в поверхностном слое сопровождается катастрофическим снижением стойкости при

эксплуатации, поэтому для них недопустима незначительная степень обезуглероживания.



**РИС. 53 ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СТОЙКОСТИ РЕЗЦОВ ИЗ СТАЛИ Р18 ОТ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ**

Основными факторами, определяющими обезуглероживание, является присутствие в солевом растворе кислорода, углекислоты и других газов и загрязненность его различными оксидами. В связи с этим для предупреждения обезуглероживания стали при нагреве в соляных ваннах могут быть использованы следующие пути решения данной проблемы:

Уменьшение насыщенности ванны газами. Для этого к зеркалу ванны подают инертный газ или вводят твердые добавки (древесный уголь, бор и т. д.), которые имеют большее сродство к кислороду и способны быстро очистить расплав. Добавки действуют недостаточно продолжительно.

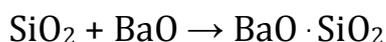
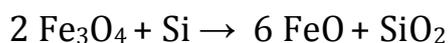
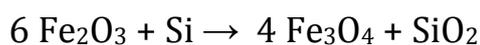
Снижение интенсивности образования оксидов в соляных ваннах. Для этого проводят следующие мероприятия: использовать в ванне достаточно чистые хлористые соли, не содержащие в качестве примесей сернокислые и углекислые соли; предварительно прокалывать исходные соли при достаточно высоких температурах (600°С) с целью удаления из них как гигроскопической, так кристаллизационной влаги; просушивать и прокалывать ректификаторы; возможно меньше заносить в ванну оксидов; очищать закалочные приспособления от селитры, щелочей и других материалов перед погружением; сокращать до возможного минимума поверхность зеркала ванны; по возможности

снижать температуру ванны; накрывать ванну крышкой во время плавления солей.

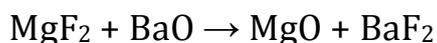
### 13.13 РЕКТИФИАТОРЫ

---

Твердые ректификаторы. Это металлы, которые действуют на содержащиеся в ванне оксиды бария, железа и других металлов, как восстановители, разлагающие эти оксиды - сухой древесный уголь, чугунная стружка, кокс, графит, карбид кремния, кремний, титан, кальций, алюминий, магний:

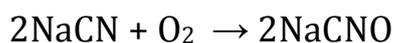


Соли различных щелочных металлов. Продукты разложения этих солей связывают содержащиеся в солевых расплавах оксиды бария, железа в сложные, труднорастворимые комплексные соединения, которые выпадают в виде осадка - бура, борная кислота, желтая кровяная соль, фтористые соли магния и кальция:



Оксиды металлов. - неактивны относительно углерода стальных изделий ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  и др.)

Цианистые соли. - (1...3%):



## 14 НАГРЕВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В КОНТРОЛИРУЕМЫХ АТМОСФЕРАХ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

---

Выбор наиболее рациональных карбюризаторов или контролируемых атмосфер для процессов термической и химико-термической обработки изделий машиностроительной промышленности зависит от марок стали и специфических требований, предъявляемых к этим процессам. Эти требования могут быть выполнены определенным целенаправленным взаимодействием атмосферы с нагреваемыми металлами и сплавами.

#### 14.1 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГАЗОВ С МЕТАЛЛАМИ И СПЛАВАМИ.

По взаимодействию с поверхностью металлических изделий газы можно разделить на шесть групп:

- инертные или нейтральные, когда не происходит никакой реакции между изделием и газовой средой;
- окислительные, когда кислород газовой среды соединяется с металлами;
- восстановительные, когда газ при повышенной температуре восстанавливает окислы металлов до металла;
- обезуглероживающие, когда в поверхностных слоях обрабатываемого изделия уменьшается концентрация углерода;
- науглероживающие, когда обрабатываемое изделие насыщается углеродом;
- азотирующие, когда обрабатываемое изделие насыщается азотом.

Классификация газов по их воздействию на металлы и сплавы приведена в табл. 1.

**ТАБЛИЦА 9 КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЗОВ ПО ИХ ВОЗДЕЙСТВИЮ НА МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ**

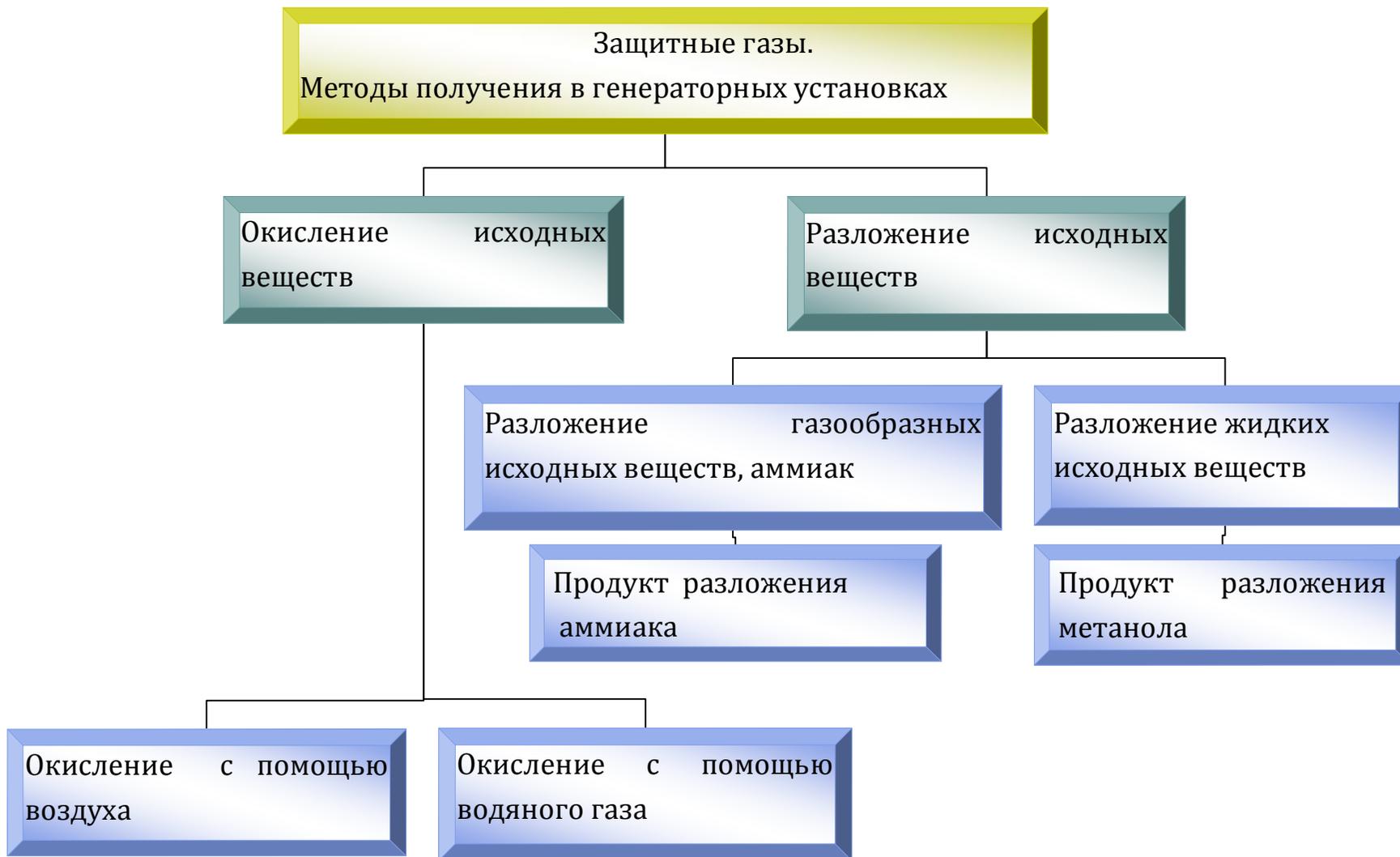
Газ	Характер воздействия					
	инертное	Окислительное	восстановительное	Науглероживающее	Обезуглероживающее	Азотирующее
<b>Азот (N<sub>2</sub>)</b>	+	-	-	-	-	-
<b>Аргон (Ar)</b>	+	-	-	-	-	-
<b>Гелий (He)</b>	+	-	-	-	-	-
<b>Кислород (O<sub>2</sub>)</b>	-	+	-	-	+	-
<b>Водород (H<sub>2</sub>)</b>	-	-	+	-	+	-
<b>Оксид углерода (CO)</b>	-	-	+	+	-	-
<b>Углекислый газ (CO<sub>2</sub>)</b>	-	+	-	-	+	-
<b>Водяной пар (H<sub>2</sub>O)</b>	-	+	-	-	+	-
<b>Метан (CH<sub>4</sub>)</b>	-	-	+	+	-	-
<b>Аммиак (NH<sub>3</sub>)</b>	-	-	-	-	-	+

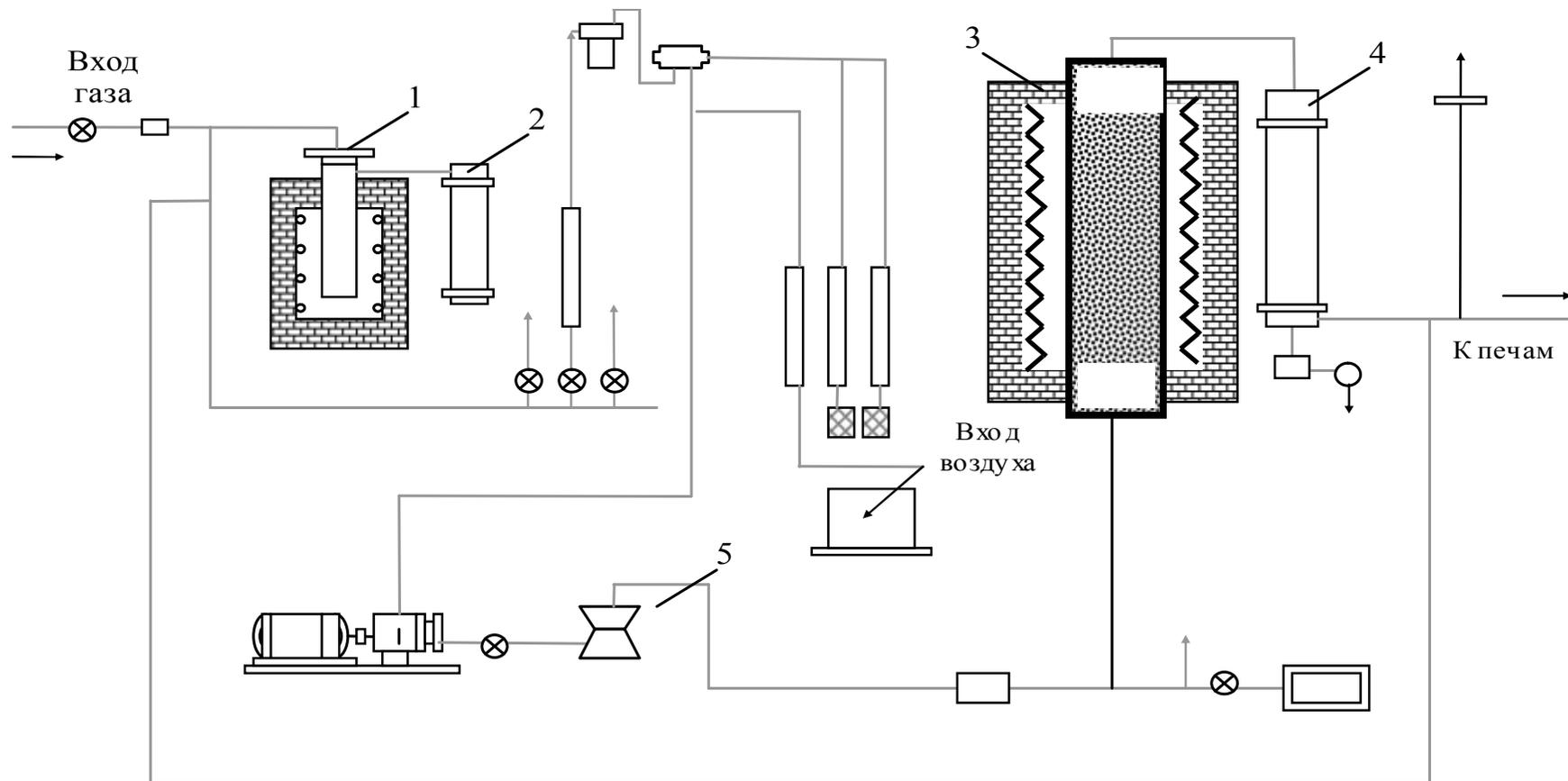
Из газов, указанных в таблице 1, можно составить газовые смеси, в которых газы противоположного воздействия на металлы и сплавы будут взаимно нейтрализоваться, в результате чего поверхность нагреваемого изделия сохранится в неизменном состоянии. Добавляя к

газовым смесям газы, распадающиеся с выделением углерода, азота или других упрочняющих элементов, можно производить различные виды химико-термической обработки.

Защитные газы получают в специальных газогенераторах, оборудование подразделяется на основные и дополнительные устройства. К основным устройствам относится генератор для получения защитного газа, оно включает оборудование для измерения расхода и смешения исходного вещества и воздуха, камеру сгорания или крекинга (реторту) с охладителем газа, а при определенных методах получения и оборудование для последующей очистки и регулировки состава газа. К дополнительным устройствам относятся устройства для накопления, хранения и испарения исходных веществ, устройства для очистки исходных веществ и хранилища защитных газов.

В зависимости от способа получения газа различают экзо-, моно- (инертные), эндо и крекинг газовые генераторы, а также печи для крекинга.





**РИС. 54 ПОЛНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЭНДОТЕРМИЧЕСКОЙ АТМОСФЕРЫ: 1 – ГАЗ ИЗ СЕТИ; 2 – ИСПАРИТЕЛЬ ЖИДКОГО ГАЗА; 3 –ЭНДОТЕРМИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР; 4 – ТРУБЧАТЫЙ ВОДЯНОЙ ХОЛОДИЛЬНИК; 5 – РЕГУЛЯТОР ДАВЛЕНИЯ СМЕСИ**

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Веселовский О.Н., Шнейберг Я.А. Энергетическая техника и ее развитие. М.: Высшая Школа, 1976. 304 с.: с ил.
2. Электротехнологические промышленные установки: Учебник для вузов / И.П.Евтюкова, Л.С.Кацевич, Н.М.Некрасова, А.Д.Свенчанский; Под ред. А.Д.Свенчанского. М.: Энергоиздат, 1982.
3. Болотов А.В., Шепель Г.А. Электротехнологические установки: Учебник для вузов по специальности «Электроснабжение промпредприятий». М.: Высшая школа, 1988. 336 с.: ил.
4. Электротермическое оборудование: Справочник /Под общ. ред. А.П.Альтгаузена. М.: Энергия, 1980. 416 с. ил.
5. Электротехнический справочник. Т. 3. Кн. 2. Изд. 5-е, исправ. и доп. /Под общ. ред. проф. В.Г.Герасимова, П.Г.Грудинского, Л.А.Жукова и др. М.: Энергоиздат, 1982. 560 с.
6. Альтгаузен А.П. Применение электронагрева и повышение его эффективности. М.: Энергоатомиздат, 1987. 128 с.