

УДК 669.046.44

## **ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕЧЕЙ ОТКРЫТОГО ТИПА ДЛЯ ОБЖИГА УГЛЕГРАФИТОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

*Н.П. Нонишнев*

Анализ работы многокамерных печей обжига углеграфитовой продукции открытого и закрытого типа показал, что печи обжига открытого типа имеют целый ряд преимуществ перед печами закрытого типа, основными из которых являются равномерность температурного поля в объеме камер, низкий расход газа, высокая производительность, отсутствие тяжелого свода, возможность сжигания смолистых летучих веществ в греющих простенках, а также более низкие капитальные затраты при строительстве печи.

Ключевые слова: печь обжига открытого типа, печь обжига закрытого типа, перепад температур, производительность, расход газа, качество углеграфитовой продукции, сжигание смолистых летучих веществ.

Процесс производства углеграфитовой продукции состоит из нескольких технологических операций, среди которых обжиг занимает особое место. Обжиг определяет качество и эксплуатационные свойства углеграфитовой продукции и является самой длительной технологической операцией (продолжительность нагрева и охлаждения при обжиге составляет от 17 до 30 суток).

При нагреве заготовок, спрессованных из твердого наполнителя (нефтяного, пекового коксов, термоантрацита) и связующего (каменноугольного пека), происходит выделение летучих веществ из связующего, образование полукокса, а затем кокса, связывающего зерна наполнителя [1]. В процессе усадки полукокса формируется структура и материал приобретает требуемые свойства. Максимальная температура обжига составляет 1000–1250 °С. График обжига имеет дифференцированный характер, минимальные скорости нагрева 1–2 °С/час должны обеспечиваться в интервале температур газовыделения и усадки заготовок 200–600 °С.

На качество обожженных заготовок большое влияние оказывает равномерность нагрева в объеме камер печей обжига. Возникающие при обжиге перепады температур приводят к снижению механической прочности и теплопроводности, увеличивается трещиноватость и удельное электросопротивление, снижается эксплуатационная стойкость углеграфитовой продукции.

Не менее важное значение имеет охлаждение обожженных заготовок. Высокие скорости охлаждения приводят к трещинообразованию, повышению уровня брака и снижению качества продукции.

После проведения обжига углеродные материалы становятся устойчивыми к механическим и химическим воздействиям, увеличивается их теплопроводность, электропроводность и термическая стойкость.

Процесс обжига являются источником загрязнения окружающей среды канцерогенным 3,4 бенз(а)пиреном, который содержится в смолистых летучих веществах, выделяющихся при обжиге в процессе коксования связующего.

В мировой практике для обжига спрессованных углеродных заготовок используются печи различной конструкции: с выкатным подом и туннельные, многокамерные печи Ридгаммера закрытого и открытого типа [2]. Печи обжига должны обеспечивать: оптимальное равномерное распределение температуры в камерах; максимально низкий расход теплоносителя; минимальные операционные и эксплуатационные расходы; стабильно высокое качество обжигаемой продукции; высокую производительность и экологическую безопасность.

Основными недостатками первых двух типов обжиговых печей (туннельных и с выкатным подом) являются ограниченный ассортимент обжигаемой продукции, низкая производительность (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная характеристика печей для обжига углеграфитовой продукции

№№ п.п.	Наименование	Печь открытого типа	Печь закрытого типа	Печь с выкатным подом	Туннельная печь
1	Количество камер в печи, шт.	34–72	20–30	1	1
2	Тоннаж загрузки одной камеры, тн	70–90	36	147	350
3	График обжига, час	180	360	300	270
4	Количество обожженных камер в год, шт.	566–1132	283–425	28	29
5	Производительность печи, тн/год	40000–100000	10000–15000	4000	8000
6	Расход отопительного газа, м3/тн товара	120	250	100	150
7	Перепад температур по высоте камеры, °С	100	200–300	50	150
8	Максимальная температура обжига, °С	1150	800–1000	1000	1000

В туннельных печах отсутствует возможность обжига крупногабаритных углеграфитовых изделий, таких как подовые, анодные блоки, угольные электроды, печи имеют неравномерное температурное поле, высокий расход природного газа. Печи с выкатным подом, в основном, используются для обжига графитированных электродов крупных сечений и пропитанных заготовок. Печи с выкатным подом отличаются равномерным температурным полем, низким расходом газа, но имеют низкую производительность (табл. 1).

Обжиговые многокамерные печи Ридгаммера открытого и закрытого типа наиболее широко используются в мире для обжига углеграфитовой продукции. В России в основном используются многокамерные обжиговые печи закрытого типа (рис. 1).

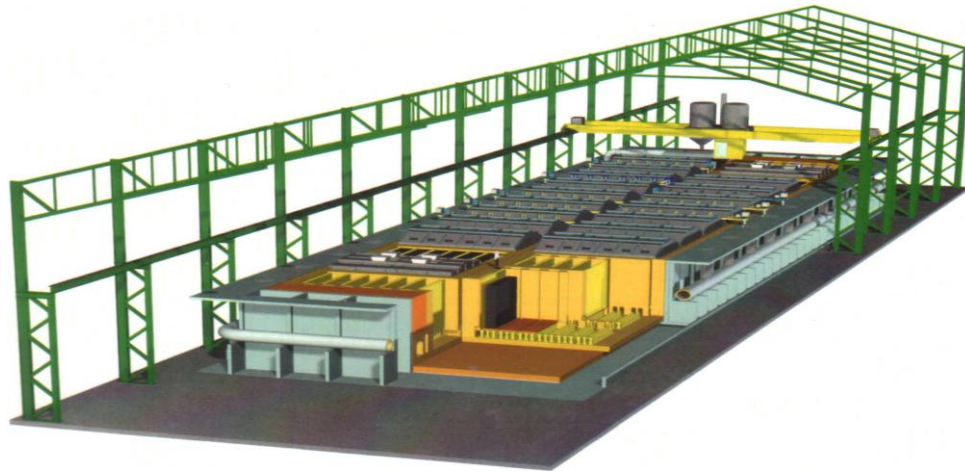


Рис. 1. Многокамерная печь Ридгаммера закрытого типа

Это универсальные, высокопроизводительные печи, в которых можно обжигать все виды углеродной продукции. Однако обжиговые печи закрытого типа имеют очень существенные недостатки – неравномерное температурное поле в объеме камер, высокий расход природного газа для отопления печи. В печах закрытого типа часть летучих веществ, содержащих смолистые канцерогенные углеводороды, не сгорают в печи, направляются на очистку в электрофильтры и частично выбрасываются в атмосферу, загрязняя окружающую среду.

Перепад температур по высоте камеры печи обжига закрытого типа составляет  $200\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$  (табл. 1), что отрицательно влияет на качество обожженных заготовок: увеличивается брак по трещинам по причине высоких термических напряжений в заготовке, снижается плотность, прочность, теплопроводность, увеличивается удельное электросопротивление, снижаются эксплуатационные свойства товарной продукции.

Из-за неравномерности температурного поля, в нижнем ряду камер печей обжига закрытого типа достигается температура не более  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ . По этой причине в нижних рядах камер невозможно обжигать такие виды продукции как анодные и катодные блоки алюминиевых электролизеров, температура обжига которых должна быть не менее  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Только при температуре обжига не менее  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  достигаются требования к качеству катодных блоков по удельному электросопротивлению и теплопроводности. При температуре обжига  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  для снижения удельного электросопротивления и повышения теплопроводности в рецептуру катодных блоков вводится большое количество графита, что значительно удорожает выпуск товарной продукции.

Многокамерные печи Ридгаммера открытого типа (рис. 2) в отличие от печей закрытого типа отличаются равномерным температурным полем, низким расходом отопительного газа, высокой температурой обжига и высокой производительностью [3]. Эти печи универсальны и могут использоваться для обжига всех видов углеродной продукции. Поэтому многокамерной печи обжига открытого типа становятся все более и более актуальными.



Рис. 2. Многокамерная печь Ридгаммера открытого типа

Многокамерная кольцевая печь Ридгаммера открытого типа состоит из 36 и более камер, расположенных в 2 ряда и соединенных между собой переходными каналами для последовательного прохождения потоков газа из одной камеры в другую [ 4].

Печь устанавливается в корпусе из железобетонных блоков. Стенки камер, греющих простенков и подины выкладываются из муллитокремнеземистых и шамотных огнеупорных изделий. Теплоизоляционный слой стенок камер и подины состоит из легковесных шамотных изделий и специальных теплоизоляционных материалов. Для выполнения кирпичной кладки используется огнеупорный цементный раствор. Огнеупорные материалы, применяемые для кладки печи должны быть устойчивы к термическим и химическим воздействиям.

Эффективная работа печи обеспечивается благодаря хорошей теплоизоляции и герметизации печи. Герметизация печи обеспечивает создание требуемого аэродинамического режима работы печи и позволяет точно выдерживать заданный режим обжига и максимальную температуру обжига, которая составляет  $1200^{\circ}\text{C}$  в газовой фазе и не менее  $1100^{\circ}\text{C}$  в загрузке камеры. Теплоизоляция печи обеспечивает минимальные потери тепла в окружающую атмосферу и высокий тепловой КПД печи.

Каждая камера печи разделена на несколько кассет (от 4 до 9 штук) и греющих простенков, количество которых на единицу больше количества кассет в камере. В стенах греющих простенков имеются щели для эвакуации летучих веществ из кассеты в простенок. Продукция загружается в кассеты камер и засыпается пересыпкой для защиты от окисления, сохранения формы заготовок и передачи тепла от теплоносителя к заготовкам.

Система отопления состоит из специальных температурных мостов с газовыми горелками, которые устанавливаются в лючки греющих простенков. Для создания равномерного температурного поля по высоте кассет, греющие простенки снабжены перегородками. Зигзагообразное дви-

жение продуктов горения газа в простенке обеспечивает существенное снижение перепада температур по сравнению с печами закрытого типа. В печах открытого и закрытого типа Ридгаммера в отличие от туннельных печей заготовки, загруженные в кассеты камер остаются неподвижными во время обжига, а температурная зона огня перемещается путем перестановки рампы с горелками.

Газ сжигается в горелках установленных в лючки греющих простенков трех камер системы огня, остальные 3 камеры находятся на подогреве отходящими газами (продуктами горения газа и летучих веществ). На охлаждении находятся 7–8 камер.

Последняя на подогреве камера с помощью отсасывающей трубы (электронта) соединена с дымоходом, по которому дымовые газы отводятся из печи и поступают на очистку от смолистых летучих веществ в специальные электрофильтры. Удаление дымовых газов и создание разрежения в камерах обжиговой печи производится с помощью дымососа, установленного перед дымовой трубой.

На печи открытого типа предусмотрено принудительное охлаждение, прошедших обжиг заготовок, с помощью воздуходувных труб.

Контроль процесса обжига осуществляется по термопарам, установленным в лючках греющих простенков и в пересыпке кассет камер, а также по датчикам разрежения, установленным на пятой камере системы огня.

Применение современных газогорелочных устройств позволяет автоматизировать процесс ведения температурного режима обжига. В систему автоматического управления входят шкафы управления температурными мостами, отсасывающими трубами, вакуумными мостами и воздуходувками.

Сравнительный анализ тепловых балансов обжиговых печей открытого и закрытого типа приведен в таблицах 2, 3.

В соответствии с тепловым балансом, тепло для нагрева заготовок поступает от сжигания природного газа, горения летучих веществ, выделяющихся при коксовании каменноугольного пека-связующего, сгорания части пересыпки.

Таблица 2

Приход тепла на печах обжига открытого и закрытого типа

№№ п.п.	Приход тепла Статьи баланса	Приход тепла печь открытого типа		Приход тепла печь закрытого типа	
		Количество		Количество	
		Ккал/час	%	Ккал/час	%
1	Физическое тепло природного газа	573	0,03	730	0,04
2	Химическое тепло топлива	615213	29,23	739830	44
3	Физическое тепло материала	16330	0,78	29549	1,76
4	Тепло от сгорания летучих веществ	729300	34,65	319828	19
5	Тепло от сгорания пересыпки	275400	13,08	209043	12,2
6	Тепло воздуха на горение	467832	22,23	379242	23
7	ИТОГО	2104648	100	1678222	100

Большое количество тепла поступает также с воздухом, проходящим через камеры охлаждения для горения газа.

По данным таблицы 2 видно, что в печах закрытого типа максимальная часть тепла поступает от сгорания топлива. В печах открытого типа, по сравнению с печами закрытого типа максимальная часть тепла поступает от горения в греющих простенках камер смолистых летучих веществ. Более полное и эффективное сжигание смолистых летучих веществ приводит к снижению расхода топлива в печах открытого типа и уменьшению вредных выбросов в атмосферу. Тепло не сгоревших летучих веществ в печах закрытого типа значительно выше и составляет 9,8 %, по сравнению с 0,1 % для печи открытого типа (табл. 3).

Таблица 3

Расход тепла на печах открытого и закрытого типа

№№ п.п.	Расход тепла Статьи баланса	Расход тепла на печи открытого типа		Расход тепла на печи закрытого типа	
		Количество		Количество	
		Ккал/час	%	Ккал/час	%
1	Нагрев материала	668833	32	396623	23,4
2	Нагрев кладки	830285	39,1	604920	35,6
3	Потери с продуктами горения	406230	19,3	348334	20,6
4	Тепло на испарение летучих веществ	9776	0,5	13790	0,7
5	Тепло не сгоревших летучих веществ	1685	0,1	166768	9,8
6	Потери в окружающую среду	189438	9	167787	9,9
7	ИТОГО	2106247	100	1698222	100
8	Невязка баланса	1599		20000	

В печах открытого типа расход тепла на нагрев материала составляет 32 %, в то время как на печах закрытого типа 23,4 %. Это свидетельствует о более высоком тепловом КПД печей открытого типа (табл. 3).

Таким образом, печь обжига открытого типа является наиболее эффективной и экологически безопасной печью. Применение специальной программы управления процессом обжига обеспечивает полное эффективное сжигание летучих веществ, снижение расхода топлива, равномерное температурное поле, а следовательно, гарантированное качество углеграфитовой продукции. Равномерный нагрев при обжиге позволяет значительно сократить продолжительность графика обжига, увеличить производительность печи и сократить операционные и эксплуатационные расходы.

#### Библиографический список

1. Чалых, Е.Ф. Технология и оборудование электродных и электроугольных предприятий / Е.Ф. Чалых. – М.: Металлургия, 1972. – 432 с.

2. Фиалков, А.С. Процессы и аппараты производства порошковых углеродных материалов / А.С.Фиалков. – М.: Аспект Пресс, 2008. – 687 с.
3. Янко, Э.А. Углеродные аноды для алюминиевых электролизеров / Э.А.Янко. – М.: Изд. Дом «Руда и металлы», 2001. – 673 с.
4. Keller, F. Baking of anode / F.Keller, P.O.Sulger. – Calligraphy Sierre, Switzerland. – 2007. – 366 p.