

из итерационного цикла осуществляется, если последующая итерация отличается от предыдущей на значение, не превосходящее заданную точность ϵ . Сходимость процесса итераций контролировалась методом удвоения числа точек на пространственной и временной осях.

Уравнение теплопроводности решалось для значений $t_{c_0} = 20^\circ\text{C}$. Граничное условие I рода имело вид $t/x = 0 = t/x = 32 = t_{c_0}$ для прямоугольной системы координат, а для цилиндрической и сферической $t/x = -16 = t/x = 16 = t_{c_0}$. В формуле (1) $t_0 = 900^\circ\text{C}$, $t_m = 50^\circ\text{C}$, $f = 2/3$.

Полученные результаты представлены на рис. 1. Изменение распределений температуры с течением времени при граничных условиях II рода показано на рис. 2, а при граничных условиях III рода – на рис. 3.

Экспериментальные данные позволяют сделать вывод, что погрешность вычислений при данном подходе не превышает 1 %, в отличие от расчетов без учета зависимости коэффициентов c , ρ , λ от температуры, которые дают ошибку порядка 5–10 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 471 с. 2. Колесников П.М. Методы теории переноса в нелинейных средах. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 335 с. 3. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы нестационарной теплопроводности. – М.: Высш. шк., 1978. – 328 с. 4. Колесников П.М. Введение в нелинейную электродинамику. – Мн.: Наука и техника, 1971. – 328 с. 5. Цой П.В. Методы расчета отдельных задач тепломассопереноса. – М.: Энергия, 1971. – 383 с.

УДК 621.725.377

Л.Н.СМУРАГА, канд.техн.наук (БПИ)

НЕКОТОРЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О РАБОТЕ ПЕЧЕЙ С РАЗЛИЧНОЙ КОМБИНАЦИЕЙ ФУТЕРОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Статистические, динамические и энергетические характеристики печей существенно зависят от материала, из которого выполнено их ограждение. На смену плотным огнеупорным приходят огнеупорные волокнистые материалы (ОВМ), получившие самое широкое распространение за рубежом. Тем не менее, в настоящее время большинство термических устройств зафутеровано плотными огнеупорами. Это объясняется тем, что, с одной стороны, существует дефицит в волокнистых материалах, а с другой, – до сих пор не определена область их использования, нет опыта их эксплуатации. Поэтому на данном этапе для исследователей большой интерес представляет проведение сравнительного анализа характеристик печей с различной комбинацией футеровочных материалов, включая ОВМ.

Подобная работа проводилась над электрическими камерными печами типа П-650, служащими для отжига ковкого чугуна. Она осуществлялась также потому, что предполагалось улучшить характеристики процесса отжига – одного из самых длительных и низкоэффективных термических процессов.

Толщина футеровки существующих печей отжига из плотных огнеупоров — 0,46 м, масса ее составляет 1,38 т/(т · литья), средние коэффициенты теплоемкости и теплопроводности соответственно равны 1 кДж/(кг · °С) и 0,75 Вт/(м · °С).

Комбинированная конструкция ограждения этой же печи состояла из плотных огнеупоров, но толщиной на боковых стенках печи — 0,33 м, на своде — 0,22, на тележке — 0,25 м из ОВМ в виде плит теплоизоляционных из высокоглиноземистой ваты на глинистой связке (ПТВГ) толщиной 0,1 м (температура применения 1200 °С). Плиты расположены на внешних поверхностях печи, включая боковые стены, свод и под. Масса такой футеровки составила

Т а б л и ц а 1

Теплотехнические характеристики печей с различными комбинациями футеровочных материалов

Наименование показателя	Размерность	Конструкция футеровки					
		плотные огнеупоры		комбинированная		ОВМ	
		показатель	% к тепловым потерям	показатель	% к тепловым потерям	показатель	% к тепловым потерям
Полезно используемое тепло в печи	(кВт·ч)/т	128,4	31	155,94	41	163,08	49
Тепловые потери, связанные с аккумуляцией футеровки печи	”	260,0	63	204,49	53	148,08	45
Тепловые потери через футеровку печи	”	24,6	6	22,73	6	20,52	6
Расчетные тепловые потери	”	413,0	100	383,16	100	331,68	100
Тепловые потери пещью	”	493,4	—	459,8	—	398,02	—
Удельный расход электрической энергии на тонну отжигаемого чугуна	”	520,0	—	451,5	—	406,46	—
Коэффициент полезного действия печи	%	30	—	41	—	49	—
Продолжительность нагрева садки массой 29 т до температуры 950 °С	ч	24	—	19	—	16	—

- Сравнение показателей различных вариантов футеровок с параметрами работы печей из плотных огнеупоров

Наименование показателя	Направление изменения показателя	Значение в % к показателям из плотных огнеупоров	
		печи с комбинированной футеровкой	печи с футеровкой из ОВМ
Полезно используемое тепло в печи	+*	21,0	27,0
Тепловые потери, связанные с аккумуляцией футеровки печи	-**	21,0	43,0
Тепловые потери через футеровку печи	-	8,0	17,0
Тепловые потери печью	-	7,0	19,0
Удельный расход электрической энергии на тонну отжигаемого чугуна	-	13,0	20,0
Коэффициент полезного действия печи	+	37,0	63,0
Продолжительность нагрева садки массой 29 т до температуры 950 °С	-	20,0	33,0

* Знак "+" соответствует увеличению показателя печи.

** Знак "-" соответствует его уменьшению.

1,1 т/(т·литья), средние коэффициенты теплоемкости и теплопроводности соответственно равнялись 0,9 кДж/(кг·°С) и 0,48 Вт/(м·°С).

Подробное описание конструкции печи из ОВМ изложено в [1]. Толщина футеровки такой печи на боковых стенках — 0,15 м (0,10 м из плит ПТВГ и 0,05 м из плит муллитокремнеземистых теплоизоляционных на органической связке (МКРВ), температура применения 1150 °С). Масса подобного ограждения составила 0,49 т/(т·литья), а средние коэффициенты теплоемкости и теплопроводности за эксперимент соответственно равнялись 0,7 кДж/(кг·°С) и 0,21 Вт/(м·°С).

Испытание печей с рассмотренными конструкциями ограждений велось по приведенному ниже режиму. Нагрев садки из чугунных отливок осуществлялся до температуры 320 °С, далее следовала выдержка при этой же температуре 2,87 ч. Затем вели нагрев литья до температуры 950 °С и выдержку при этой же температуре в течение 2,47 ч. Охлаждение садки проводилось (по линии E'S') на воздухе в течение 1 ч до температуры 760 °С. Выдержка садки происходила при температурах 760–720 °С на протяжении 4,47 ч. Полученные теплотехнические характеристики печей сведены в табл. 1.

Анализ таблицы позволяет сравнить показатели работы печей с комбинированной футеровкой, с футеровкой из ОВМ и печей из плотных огнеупоров. Результаты анализа приведены в табл. 2.

Следовательно, проведенная работа показала преимущества печей с футеровкой из волокнистых материалов.

1. Смурага Л.Н., Степанчук В.Ф., Козлов А.И. Оптимизация толщины футеровки печей из волокнистых огнеупорных материалов // Изв. АН БССР. Сер. физ.-энерг. наук. – 1981. – № 2. – С. 66–70.

УДК 621.181.12

Г.И.ЖИХАР, канд.техн.наук, И.Г.БОГДАНОВИЧ,
Н.П.КЕДА, канд.физ.-мат. наук (БПИ)

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОКИСЛОВ АЗОТА И СЕРЫ ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА

В нашей стране и за рубежом проводятся теоретические исследования, позволяющие анализировать роль отдельных физических факторов при образовании окислов азота и серы в котлоагрегатах [1, 2]. Однако нет еще приемлемых моделей для образования окислов азота из азота топлива. Важным вопросом является также образование окислов серы и азота при двухступенчатом сжигании углеводородного топлива. Поэтому сделана попытка разработать кинетическую модель процесса горения углеводородного топлива и образования окислов азота и серы.

В качестве паровой фазы жидкого топлива можно принять газ следующего состава [1]: $\text{CH}_4 = 35 \%$, $\text{C}_2\text{H}_4 = 29$, $\text{H}_2 = 32,2$, $\text{S}^{\text{P}} = 2,5$, $\text{N}^{\text{P}} = 0,3$, $\text{W}^{\text{P}} = 1 \%$. В предлагаемой кинетической модели учтены реакции горения метана и водорода, исследованные в лаборатории горения газов ИХФ АН СССР [3].

Механизм горения этилена принят по схеме высокотемпературного окисления C_2H_4 , предложенной в работе [4]. Поскольку рассматриваемый механизм предполагалось использовать для расчетов процессов горения в высокотемпературной области, где необходимо учитывать термическую диссоциацию продуктов сгорания, он был дополнен реакциями разложения H_2 , O_2 , H_2O и N_2 .

Реакции образования окислов серы выбраны на основании [2].

Описание процессов образования термических окислов азота осуществляется с помощью расширенного механизма Я.Б.Зельдовича.

Процессы образования топливной окиси азота значительно сложнее и в настоящее время мало изучены. Исследования в области сжигания органических топлив указывают на то, что, согласно химической кинетике, процесс превращения азота топлива в окислы можно представить следующим образом: в зоне неравновесных реакций факела происходит распад азота топлива с образованием промежуточных соединений NH_3 , NH_2 , NH , N , CN , HCN и т. д., которые при дальнейшем окислении образуют NO . Предполагается, что исходный азот топлива находится в виде соединений NH_3 и HCN . Хотя в пламени могут протекать и другие реакции с участием промежуточных соединений, их вкладом в кинетику образования NO и N_2 из-за низкой концентрации можно пренебречь. Можно пренебречь также скоростями обратных реакций, поскольку предполагается, что начальная концентрация азотсодержащих компонентов больше, чем