

Лекція 2

Тема «Властивості вогнетривів»

Найважливішою властивістю є **вогнетривкість** тобто здатність витримувати без навантаження вплив високих температур (понад 1580°C) НЕ розплавляючись.

Визначається вона шляхом порівняння поведінки випробуваного і стандартного зразків при нагріванні за певного швидкісного режиму. Зразки ці мають форму усіченої піраміди з підставами у вигляді рівносторонніх трикутників зі сторонами 2 і 8 мм висотою 30 мм. Одна з граней піраміди розташована перпендикулярно підставці. Зразки ці називаються піроскопами. При нагріванні піроскопи втрачають форму, нахилиються. Момент торкання верхівки піраміди підкладки визначає вогнетривкість виробу випробуваного складу, якщо і стандартний зразок поводить аналогічним чином.

Пористість вогнетривів. Пори можуть бути відкритими і закритими. Розрізняють загальну, уявну і закриту пористість. Загальна пористість визначається як відношення обсягу всіх пір до обсягу виробу. Уявна пористість - як відношення відкритих пір до обсягу виробу. Закрита пористість - як відношення обсягу закритих пір до обсягу виробу.

З огляду на те, що від пористості залежать багато властивостей вогнетривів, встановлено 8 груп пористості.

	откр. пор., %	общая пор., %
Особоплотные	≤ 3	—
Высокоплотные	> 3-10	—
Повышенноплотные	> 10-16	—
Уплотненные	> 16-20	—
Среднеплотные	> 20-30	—
Низкоплотные	> 30	< 45
Высокопористые	—	45-75
Ультрапористые	—	> 75

$$P_{\text{общ}} = 100 \left(1 - \frac{\rho_{\text{каз}}}{\rho} \right),$$

где ρ — истинная плотность материала;

$\rho_{\text{каз}} = \frac{m}{v}$ — кажущаяся плотность материала;

m — масса абсолютно сухого образца;

v — объем абсолютно сухого образца.

Пористість деяких вогнетривких виробів має такі значення (%):

- динас - 20-25;
- шамот - 24-30;
- високоглиноземисті вогнетриви - 10-30;
- периклазові вогнетриви - <25;
- периклазохромітові вогнетриви - <23.

Механічна міцність при кімнатній температурі характеризується крихким руйнуванням при стисненні. Як показник використовується межа міцності при стисненні. Для звичайних виробів вона становить 20-50 МПа, для щільних - до 100 МПа, тобто міцність залежить від пористості.

Значення міцності для деяких вогнетривів такі, МПа:

- динасові - 17,5-25;
- шамотні - > 25;
- високоглиноземисті вогнетриви - > 45;
- периклазові вогнетриви - > 40;
- хромопериклазові вогнетриви - > 25.

Температура деформації під навантаженням визначається під навантаженням 0,2 МПа. При цьому відзначають температуру початку

деформації (розм'якшення), 4% і 40%-го стиснення зразка висотою 50 мм і діаметром 36 мм. Деформація під навантаженням при високих температурах визначається кількістю що утворюється рідкої фази і її розподілом в зразку. Температура 4% деформації є по суті граничною температурою служби вогнетрива, а 40% деформації - температурою руйнування зразка.

Таблиця 1.3 – Деформаційні властивості вогнетривів

Огнеупор и его характеристика	Количество стекла, % масс.	Огнеупорность, °С	Температура деформации под нагрузкой 0,2 Н/мм ² , °С		Интервал деформации, °С
			начало размягчения	40 %-ное сжатие	
1. Динасовый (96 % масс. SiO_2)	10-15	1730	1660	1670	10
2. Периклазовый (92 % масс. MgO)	5-8	2300	1550	1580	30
3. Шамотный (40 % масс. Al_2O_3 + 55 % масс. SiO_2)	~ 50	1750	1400	1600	200
4. Корундовый (99 % масс. Al_2O_3)	~ 0,5	2050	1900	1950	50

В реальних умовах дійсні навантаження на вогнетрив коливаються в межах від декількох до 30 МПа і ніколи не перевищують 80 МПа.

Термостійкість - це здатність вогнетривів витримувати без руйнування різкі коливання температури.

Термостійкість характеризується числом тепломінів, тобто циклів нагріву та охолодження. Розрізняють водяні і повітряні тепломіни.

При водяних тепломінах зразок (цеглу 230x113x65 мм) нагрівають до 1300°C, витримують його 10 хв. при цій температурі, а потім охолоджують в проточній воді (5-25°C) протягом 5 хв. Ці цикли (тепломіни) продовжують до тих пір, поки зразок не втратить 20% початкової маси. Великий вплив на термостійкість надає хіміко-мінералогічний склад і зерновий склад вогнетрива.

Термостійкість Тс1300 (вода) деяких вогнетривів дорівнює:

динасових - 1-2;

шамотних - 10-25;

високоглиноземистих - 15-20;

периклазових - 1-2;

периклазохромітових - 5-20.

При повітряних тепло змінах цеглу нагрівають до 800°C і охолоджують в потоці компресорного повітря до втрати 20% маси. В даний час цей метод не використовується.

Хімічна стійкість. До 70% вогнетривів руйнується в результаті взаємодії зі шлаком, металом і газами. Найбільш сильний руйнівний вплив надають шлаки. Руйнівна дія шлаку носить складний характер і оцінити шлакостійкість вогнетриву одним показником складно. Тут позначається склад вогнетриву, його пористість, температура взаємодії, гідродинамічні умови.

Як правило, основні вогнетриви добре протистоять основним шлакам, кислі – кислим, нейтральні - приблизно однаково протистоять і кислим, і основним шлакам.

Стандартної методики визначення шлакостійкості немає. У лабораторних умовах вона визначається тигельним способом. Виготовляється тигель з досліджуваного вогнетриву і заповнюється шлаком відомого складу. Заповнений тигель поміщають в піч і витримують при температурі 1500°C протягом 3-4 годин. Шлакостійкість визначається за величиною руйнування зразка. Якісно процеси хімічної взаємодії вогнетривів з розплавами описуються наступними правилами: хімічний склад вогнетриву і особливо його зв'язка повинні відповідати основності шлаку. Динасові і алюмосилікатні вогнетриви утворюють з FeO найбільш легкоплавкі розплави; периклазові мають мінімальну розчинність, оксид кальцію з динасовими і алюмосилікатними вогнетривами утворює легкоплавкі сполуки, а з MgO високосклади. З цієї причини MgO і CaO знаходять широке застосування для футеровки мартенівських печей і кисневих конвертерів.

Сталість об'єму. Збереження постійного об'єму - важлива характеристика вогнетривів, тому що в цьому випадку в кладці не виникає додаткових напружень. Це особливо важливо для склепінь і арок. Насправді всі вогнетриви під час служби в теплових пристроях відчувають зростання або усадку внаслідок усадки матеріалу або термічного розширення.

Додаткову усадку або зростання визначають за різницею об'ємів зразка, виміряних до і після випалу при заданій температурі за формулою:

$$\Delta V = \frac{(V_1 - V_0) \cdot 100}{V_0}$$

де V_0 і V_1 – об'єми зразка до і після випалу.

Лінійну усадку або зростання визначають за формулою:

$$\Delta \ell = \Delta V / 3.$$

Додаткова усадка або ріст не повинні перевищувати в умовах служби 0,5-1,0%.

Температурний коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^{-6}$ для різних вогнетривів в інтервалі температур 20-1000°C має такі значення:

- шамот - 4,5-6,0;
- корундові вогнетриви - 8,0-8,5;
- периклазові вогнетриви - 14-15;
- диносові вогнетриви - 11,5-13,0;
- хромопериклазові вогнетриви - 10,0.

Знаючи величину, можна розрахувати величину температурного шва кладки в міліметрах на 1 м за формулою:

$$\delta = \alpha \cdot t \cdot 10^3.$$

Наприклад, для периклазової кладки

$$\delta = 14 \cdot 10^{-6} \cdot 1800 \cdot 10^3 = 22,5 \text{ мм/м.}$$

Прийнята температура кладки 1800°C.

Крім перерахованих властивостей практичне значення мають теплоємність, теплопровідність, електропровідність, газова проникність, акумулюючі здатність вогнетривів тощо.

Теплоємність всіх твердих тіл, згідно із законом Дюлонга-Пті, приблизно однакова - 25,116 Дж/г-ат*К. Теплоємність вогнетривів оцінюється по теплоємності провідних оксидів: MgO, Al₂O₃, SiO₂, CaO, питома теплоємність яких відповідно дорівнює: 37,920; 70,101; 44,496; 50,447 кДж/моль*К. Вогнетриви мають теплоємність 0,04-0,96 кДж/кг*К.

Теплопровідність вогнетривких матеріалів залежить від складових фаз і характеру їх структури і визначається тією фазою, яка є суцільним середовищем. У загальному випадку вона визначається формулою (Вт/м*К):

$$\lambda = a + b \cdot T + c \cdot T^2 + dT^3$$

Акумуляюча здатність вогнетривів характеризує здатність матеріалу приймати при нагріванні і віддавати при охолодженні теплоту. Вона виражається формулою (Вт*с^{0,5}/м²*К):

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$$

Ця величина має велике значення при виборі вогнетривів, що працюють в періодичних умовах: футеровки печей, насадки регенератора тощо.

Характеристика теплофізичних властивостей деяких вогнетривів приведена в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Теплофізичні властивості вогнетривів при температурах 20, 500, 1000°С

Огнеупор	Теплопровідність, Вт/м·К			Теплоємність, кДж/кг·К			Температуро-провідність, м ² /с			Плотність, г/см ³
	20	500	1000	20	500	1000	20	500	1000	
шамот	1,16	1,34	1,51	0,83	1,0	1,08	0,70	0,67	0,70	2,0
динас	1,16	1,40	1,63	0,79	0,96	1,0	0,77	0,77	0,86	1,9
периклаз	5,82	4,66	3,50	0,92	1,08	1,08	2,42	1,66	1,25	2,6
корунд	29,1	10,0	5,82	0,83	1,0	1,08	9,2	2,74	1,42	3,8