

Линейный коэффициент теплового расширения керамики (КТР α)

Полина Потапова
@po.ceramics

Почему материалы расширяются при нагревании?

Когда разные материалы нагреваются, их линейные и объемные размеры немного увеличиваются. За счет чего это происходит? При нагревании атомы начинают колебаться с определенной амплитудой и частотой, «отодвигаясь» друг от друга. Это явление называется тепловым расширением. Значение коэффициента зависит от того, какой материал нагревается. Материалы с плотной кристаллической решеткой расширяются сильнее, потому что атомам требуется больше места на колебания, а с менее плотной - не так сильно, потому что у атомов есть чуть больше пространства для колебаний.

Коэффициент линейного расширения показывает, как сильно увеличивается в размерах твердое тело при увеличении температуры на каждый 1°C.

Коэффициент теплового расширения глины и глазури могут записывать по-разному:

КТР α 20-500 (°C⁻¹): 64×10^{-7}

КТР α 20-500 - 64×10^{-7} °C⁻¹

СТЕ [$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$] 20 - 500 °C - 6,4 (в иностранных источниках, CTE – coefficient of thermal expansion)

КТР = $64 \cdot 10^{-7}$ °C⁻¹

Все эти записи означают одно и то же:

коэффициент линейного теплового расширения (α) равен 0,0000064 на 1 °C в диапазоне температур от 20 до 500 °C.

Когда образуется цек?

При охлаждении от 500 °C до 20 °C в печи после обжига керамика немного уменьшается в линейных размерах. И это не огневая усадка глины, а физическое свойство любых материалов. Таким материалом и становится глина во время обжига, когда превращается в твердое тело - керамику. С этого момента под воздействием тепла керамика будет незначительно расширяться и сжиматься. То же касается и глазури.

Если КТР глазури не соответствует КТР глины, они начинают по-разному и с разной скоростью сжиматься в печи, возникает напряжение в глазурном слое (потому что он тоньше) и образуется цек. Если глазурь нанесена очень толстым слоем, а керамика тонкостенная, то трескается сама керамика.

Есть такое распространенное заблуждение, что печь можно открывать только когда она уже совсем остыла и очень осторожно, тогда цека не будет. На самом деле это не так. Не важно на какой температуре вы открываете печь, этот момент совсем не влияет на образование цека. Дело в том, что при медленном остывании в диапазоне указанных

температур возникшее напряжение в глазурном слое может не привести к цеку сейчас, но проявится чуть позже, через какое-то время.

Почему КТР рассчитывается для диапазона температур от 20 до 500 °С?

Потому что при обжиге глазури достаточно текучи и в интервале температур от 560 до 400 °С происходит трансформация и именно с этого момента начинает возникать напряжение в глазурном слое, если КТР глазури и черепка не соответствуют друг другу. Поэтому нам не столь интересно что происходит на более высоких температурах.

Формула линейного КТР

Формула линейного коэффициента теплового расширения выглядит так:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_1 \cdot \Delta t}$$

где $\Delta l = l_2 - l_1$ – разница между линейным размером тела при начальной температуре (l_1) и линейным размером при конечной температуре (l_2).

$\Delta t = t_2 - t_1$ – разница температуры начальной (t_1) и конечной (t_2). В нашем примере $t_1 = 20^\circ\text{C}$, а $t_2 = 500^\circ\text{C}$.

Результаты вычислений записываются следующим образом:

$$\text{КТР } \alpha_{(20-500)} = 64 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Давайте посмотрим, что означает каждый элемент этого страшного выражения.

α – это символ обозначающий коэффициент именно линейного теплового расширения. Еще бывает коэффициент объемного теплового расширения, который обозначается буквой β .

20-500 – это интервал температур, для которого рассчитан коэффициент теплового расширения. То есть взяли размер твердого тела при температуре 20 °С и размер тела при температуре 500 °С, и на основании этих данных рассчитали коэффициент.

$^\circ\text{C}^{-1} = 1/^\circ\text{C}$ – КТР имеет размерность обратной температуры и означает относительное изменение линейных размеров на 1 °С. Вот это «на 1 °С» и записано таким образом в виде отрицательной степени. А в математике отрицательная степень числа $x = 1/x$, в нашем случае $1/^\circ\text{C}$ (т.е. обратная температура).

64×10^{-7} - снова отрицательная степень, которую также можно записать следующим образом $64 \cdot 1/10^7 = 64/10000000 = 0,0000064$

$6,4 \times 10^{-6} = 6,4/10^6 = 6,4/1000000 = 0,0000064$ - здесь то же самое, но отрицательная степень меньше.

То есть:

$64 \times 10^{-7} = 6,4 \times 10^{-6}$ - это разные способы записи одного и того же числа, а не разные коэффициенты. Поэтому будьте внимательны.

Также про тепловое расширение силикатов можно почитать в книге Кингери У.Д. «Введение в керамику».