

Перемещение головы анкеров по а. с. № 1392203 гораздо меньше, чем у обычных при том же нагружении. Формирование уширений в корневой части не сопровождается возникновением разрывов в грунте, что позволяет повысить долю ее лобового сопротивления. При этом за счет геотекстиля значительно увеличивается стойкость цементного камня корня и металла тяги к агрессивному влиянию подземных вод и повышается их долговечность. Поэтому такие анкера могут быть рекомендованы

даже для длительного крепления подпорных стенок.

Таким образом, наличие геотекстильной оболочки упрощает технологию выполнения буроналивных анкеров при сокращении расхода цемента и увеличении несущей способности. При этом процесс инъекции становится управляемым и контролируемым.

*Рецензент канд. техн. наук,
доц. СУХОДОЕВ В. Н.*

УДК 621.6.015

О ТЕРМИЧЕСКОМ ИСПЫТАНИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС К СУШКЕ

Докт. техн. наук, проф. ОСИПОВ С. Н., ИВАНОВСКИЙ И. К.

Белорусский национальный технический университет

Для получения высококачественных керамических изделий, к которым также относятся различные виды кирпичей пластического формования, необходимо правильно определять их чувствительность к сушке. Единственным прямым методом ее определения является метод А. Ф. Чижского, основанный на интенсивном нагреве поверхности образцов формовочных масс мощным лучистым потоком энергии, что обеспечивает более жесткий режим прогрева и сушки по сравнению с производственными условиями.

При этом чувствительность формовочных масс к сушке оценивается по величине времени до появления первой трещины или заметной деформации под воздействием мощного лучистого потока энергии ($S \approx 0,7 \dots 1,0 \text{ Вт/см}^2$).

В период интенсивного нагрева поверхности образца, имеющего форму пластины, в связи с высокими температурными градиентами в глиняной массе начинается значительный термоградиентный перенос влаги, благодаря которому обезвоживаются поверхностные слои и образуется существенный перепад влагосодержания между поверхностью и тыльной изолированной частью образца. Последнее приводит к интенсивной усадке поверхностных слоев и образованию

трещин или иных явных признаков недопустимой деформации.

При высокой интенсивности облучения даже в первые 300 с (кроме нагрева) начинается испарение влаги с поверхности образца, что приводит к некоторому уменьшению воздействия теплового потока.

Как показывают наши эксперименты с лукомльской глиной и А. Ф. Чижского со спондиловой, температуры поверхностей образцов толщиной 2,0 и 1,6 см изменяются примерно одинаково по зависимости, близкой к обратной экспоненте. Если разность между конечной и начальной температурами нагрева поверхности образцов Δt_0 имеет экспоненциальную форму вида

$$\frac{\Delta t}{\Delta t_0} = \exp(-\beta \tau), \quad (1)$$

то после логарифмирования для определения коэффициента показателя экспоненты β [1/с] получаем

$$\ln \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_0} \right) = -\beta \tau, \quad (2)$$

где Δt_0 — условная максимальная разность температур поверхности образца в начале и конце экс-

периментальной сушки, °C; Δt – текущая разность температур поверхности образца, °C; τ – время экспериментальной сушки, с.

Расчеты показывают, что более удачная аппроксимация имеет место при условной максимальной температуре окончания экспериментальной сушки 90 °C и значение коэффициента составляет $\beta = 0,0135$ 1/с. При этом точка, соответствующая $\tau = 30$ с, явно адекватна $\beta = 0,022$ 1/с, что свидетельствует о более интенсивном нагревании поверхности образцов при отсутствии испарения влаги.

Полученная зависимость (2) позволяет использовать решение уравнения Фурье

$$a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = \frac{\partial t}{\partial \tau} \quad (3)$$

с начальными и граничными условиями:

$$t(x, 0) = t_0; \quad t(0, \tau) = t_0 + (t_k - t_0)[1 - \exp(-\beta \tau)];$$

$$dt/dx(h, \tau) = 0 \quad (4)$$

в виде

$$t = t_0 + \theta(t_k - t_0), \quad (5)$$

где

$$\theta = 1 - \frac{\cos[\sqrt{Pd}(1-\eta)]}{\cos \sqrt{Pd}} \exp(-Pd Fo) -$$

$$- \sum_{n=1}^{\infty} A_n \frac{Pd}{Pd - \mu_n^2} \cos[\mu_n(1-\eta)] \exp(-\mu_n^2 Fo); \quad (6)$$

$$\mu_n = (2n-1)\pi/2; \quad A_n = (-1)^{n+1} 2/\mu_n \quad (7)$$

и

$$\frac{\partial t}{\partial x} = -G \frac{t_k - t_0}{h}, \quad (8)$$

где

$$G = \sqrt{Pd} \frac{\sin[\sqrt{Pd}(1-\eta)]}{\cos \sqrt{Pd}} \exp(-Pd Fo) +$$

$$+ \sum_{n=1}^{\infty} C_n \frac{Pd}{Pd - \mu_n^2} \sin[\mu_n(1-\eta)] \exp(-\mu_n^2 Fo); \quad (9)$$

$$C_n = (-1)^{n+2} 2; \quad Fo \equiv \frac{a\tau}{h^2}; \quad Pd \equiv \frac{\beta h^2}{a}; \quad \eta = \frac{x}{h}; \quad (10)$$

a – коэффициент температуропроводности, см²/с; t – текущая температура, °C; x – расстояние от поверхности нагрева, см; h – толщина пластинки из формовочной глиняной массы, см.

Поток влаги через единицу площади сечения в капиллярно-пористых телах, к которым относятся глинистые формовочные смеси, с учетом термоградиентного влагопереноса описывается уравнением

$$i = a_m \rho_0 \frac{dU}{dx} - a_m \rho_0 \delta \frac{dt}{dx}, \quad (11)$$

где a_m – коэффициент влагопроводности (диффузии) материала, см²/с; ρ_0 – плотность сухого материала, г/см³; U – влагосодержание, г/г; δ – коэффициент термоградиентного влагопереноса, 1/°C (%/°C).

Из (11) следует

$$i = a_m \rho_0 \left(\frac{dU}{dx} - \delta \frac{dt}{dx} \right). \quad (12)$$

Отсюда видно, что изменение направления потока влаги в глиняном образце при экспериментальной сушке происходит при

$$\frac{dU}{dx} = \delta \frac{dt}{dx} \quad (13)$$

и зависит от градиентов влажности и температуры, а также величины коэффициента термоградиентного влагопереноса.

Как показывают исследования А. В. Лыкова, П. Д. Лебедева и др., величина δ зависит от влажности глины, и правая ветвь этой зависимости в интервале рабочей влажности керамических масс пластического формования (≥ 15 %) может быть описана (С. Н. Осипов, Е. С. Калиниченко) уравнением прямой

$$\delta = \delta_{m,y} - \psi U, \quad (14)$$

где $\delta_{m,y}$ – максимальное условное значение δ , полученное при продлении правой части до оси δ , %/°C; ψ – эмпирический коэффициент, 1/°C.

Для смеси лукомльской глины с 20 % гранитного отсева, используемой для производства

полнотелого кирпича на Минском заводе строительных материалов, $\delta_{m,y} = 0,236 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{см}$ и $\psi = 0,00761 \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

Для численного определения температур и градиентов температур в испытуемом образце глины можно воспользоваться номограммами (А. И. Пехович, В. М. Жидких), в соответствии с одной из которых ($\eta = 0$) просчитана зависимость $G = f(\tau)$. При этом принято табличное значение $a = 0,556 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2/\text{с}$ при $h = 2 \text{ см}$.

Максимальная величина градиента температуры наступает примерно через 90 с после начала сушки и соответствует величине $dt/dx = 56 \text{ град./см}$, что является весьма высоким показателем. Уже через 30 с после начала сушки градиент температуры на поверхности образца глины достигает 52 град./см. Только в конце испытаний ($\tau = 300 \text{ с}$) градиент температуры снижается до 37 град./см.

Числа гомотоксности полей потенциалов переноса, называемые числами Фурье:

$$Fo_t = \frac{a\tau}{R^2} \quad \text{и} \quad Fo_m = \frac{a_m\tau}{R^2} \quad (15)$$

(где R – характерный размер), определяют режим релаксации теплового и влажностного напряжений массы.

По данным А. В. Лыкова, период релаксации влажностных полей массы примерно в $10^1 \dots 10^2$ раз больше, чем период релаксации теплового поля.

Для оценки запаздывания компенсации термоградиентного потока влаги концентрационным используется критерий Lu , который назван в честь первооткрывателя явления термоградиентного влагопереноса А. В. Лыкова и в случае испарения влаги с поверхности капиллярно-пористого тела (глины) составляет

$$Lu = \frac{a_m}{a} \quad (16)$$

Как показали исследования П. Д. Лебедева, величина критерия Lu зависит от режима сушки и влажности нижнекотловской глины, изменяясь в пределах $0,01 \dots 0,13$ при влажности от 4 до 24 % и значительном изменении интенсивности сушки. При этом с ростом влажности и интенсивности сушки величина Lu увеличивается. По

данным Н. Н. Бабьева изменение критерия Лыкова в зависимости от влагосодержания глины можно аппроксимировать простой линейной зависимостью

$$Lu = 0,54U_m, \quad (17)$$

где U_m – влагосодержание глины, кг/кг.

При современных влагосодержаниях формовочной глиняной массы ($\sim 0,2 \text{ кг/кг}$) значение критерия А. В. Лыкова составляет $Lu \approx 0,1$, что указывает на разницу в периодах релаксации полей температур и влагосодержания примерно на один порядок, а при снижении влагосодержания – на два.

Для песка, по данным Н. Н. Бабьева, при $U_m \geq 0,15 \text{ кг/кг}$ $Lu > 1$, а по данным П. Д. Лебедева, – при любом влагосодержании.

Реальная продолжительность влияния термоградиентного переноса влаги на центральную часть кирпича-сырца из ленинградской глины при конвективной сушке теплоносителем с соответствующей температурой сухого ($t_c = 46 \text{ } ^\circ\text{C}$) и мокрого ($t_m = 41,6 \text{ } ^\circ\text{C}$) термометров, по данным Д. В. Жукова, составляет примерно 3600 с (1,0 ч). При различных режимах сушки ($t_c = 34,2 \dots 56 \text{ } ^\circ\text{C}$; $t_m = 20 \dots 52,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ и $v = 0,5 \dots 2,0 \text{ м/с}$) средний градиент поверхностной влажности составлял от 1,78 до 3,94 %/см. С ростом интенсивности сушки поверхностный градиент влажности обычно также увеличивается, что может привести к трещинообразованию.

По данным А. Ф. Чижского, при интенсивной сушке малочувствительной спондиловой глины и толщине образцов 1,6; 2,0; 3,0 и 6,5 см образование трещин на поверхности происходило при градиентах поверхностной влажности соответственно 33,0; 23,3; 10,5 и 4,65...5,8 %/см и при средних градиентах влажности соответственно 5,64; 5,25; 3,0 и 1,43...2,0 %/см. Критические перепады влажности образцов, при которых происходило трещинообразование, составляли 9...13 %.

В заключение необходимо отметить, что приведенные результаты создают научную основу для анализа и модернизации прямого метода термического испытания чувствительности керамических масс к сушке.

Рецензент докт. техн. наук,
проф. ВЕРЕНЬКО В. А.