

К.Дж. МИРЗАБЕКЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Разработан метод определения влажности керамических материалов при выходе из шнек-пресса путем измерения диэлектрической проницаемости ϵ и тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$, позволяющий автоматизировать технологический процесс.

Ключевые слова: керамический материал, влажность, диэлектрические потери, конденсатор, обкладки.

Качество и свойства большинства неоднородных материалов, в частности керамических, известняковых, огнеупорных, во многом определяются наличием в них влаги. Отсутствие или избыток ее ухудшает физико-химические и физико-механические свойства, в то время как при оптимальном содержании влаги можно обеспечить высокие технологические и качественные показатели выпускаемой продукции.

Влажность керамических материалов измеряется различными методами [1], причем для конкретного материала в большинстве случаев она может быть определена одновременно несколькими методами.

В нынешних условиях, исходя из технологических требований, необходимо также учесть вопрос дистанционной передачи результата измерения влажности, особенно в централизованных системах контроля и управления.

В производственных условиях большинство керамических материалов характеризуется неравномерным распределением влаги в заготовке, что зачастую не отвечает требованиям технологического процесса или ГОСТа.

Анализ существующих методов измерения влажности керамических материалов показал, что наиболее приемлемым из них может стать электрофизический метод, где, в частности, рассматривается измерение диэлектрической проницаемости ϵ и тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ от содержащейся влажности.

В этом случае изменение диэлектрических параметров контролируется по изменению электрической емкости, заполненной материалом.

Уравнение емкости обычно имеет вид линейной зависимости [2]

$$C_{\text{пп}} = \frac{1}{K} \epsilon_0 \epsilon_m, \quad (1)$$

где $C_{пп}$ – емкость первичного преобразователя (ПП), Φ ; k – постоянная электродной системы (геометрия электродов), $мм^2$; ϵ_0 и ϵ_m – диэлектрическая проницаемость воздуха и исследуемого материала соответственно.

Важным преимуществом диэлектрического метода измерения влажности является его практическая безынерционность, что в сочетании с бесконтактными ПП делает их особенно привлекательными для применения в автоматических системах непрерывного контроля, в частности, процесса увлажнения сыпучих керамических материалов.

В настоящее время в производстве керамических изделий для определения влажности керамической смеси применяется еще кустарный метод, т.е. взвешивание до и после увлажнения материала, который не только сильно влияет на скорость производственного процесса, но и зачастую резко ухудшает качество выпускаемых изделий. Поэтому нами изучался метод непрерывного измерения электрофизических параметров увлажненного материала, в частности, его ϵ и $tg\delta$.

В качестве ПП использовалась цилиндрическая емкостная ячейка, состоящая из двух половинок электродов. Такая ячейка обеспечивает равномерность электрического поля в межэлектродном пространстве.

С целью исключения влияния “краевого эффекта” на результат измерения центральный электрод должен быть короче наружного. Емкость [3] такого ПП определяется выражением

$$C_{пп} = \frac{10^{-9}}{36} \epsilon_m \frac{2h}{\ln \frac{r_2}{r_1}}, \quad (2)$$

где h – высота внутреннего электрода; r_1 и r_2 – радиус внутреннего и внешнего электродов соответственно.

Однако ввиду того, что поршневые машины наших предприятий не имеют центральной оси, мы считали целесообразным изготавливать электроды из двух полукруглых половинок, где емкость можно определить по формуле

$$C_{пп} = \epsilon \frac{K'(r)}{K(r)},$$

где  при $\varphi < \frac{\pi}{10}$; φ – угол между электродами; K – полные эллиптические интегралы, которые имеют вид

$$K = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{dx}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 x}}, \quad k = \sin(\alpha).$$

Учитывая, что $K(0) = K'(1) = \pi/2$, $K(1) = K'(0) = 0$, получим

$$K(k) = \frac{\pi}{2} \prod_{n=0}^{\infty} \frac{2}{1 + k_n^2},$$

где Π – бесконечное произведение.

Одновременно надо отметить, что при выходе увлажненного керамического материала из шнек-машины полукруглые электроды для определения диэлектрической проницаемости, т.е. емкости, плотно охватывают круглый измеряемый материал. Тем не менее вследствие дрожания происходит удаление электродов от сердечника (материала). В этом случае появляется воздушный зазор между электродами и выходным материалом. Диэлектрическая проницаемость зазора (т.е. воздуха) $\epsilon_0=1$. Схема расположения такого двухслойного диэлектрика приведена на рис.1.

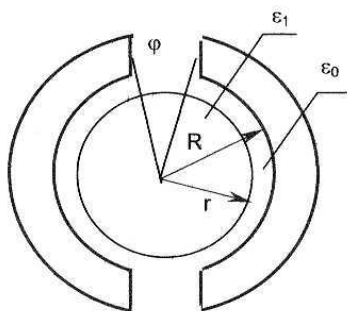


Рис.1

Для двухсвязной области справедливо следующее представление:

$$U_1(z) = \operatorname{Re} \left[\varphi \left(\frac{z-a}{R} \right) - \varphi \left(\frac{Rr_0^2}{z-a} \right) \right] + C_0 \ln \frac{z-a}{r} + U_0,$$

$$U_2(z) = \operatorname{Re} \left[\psi \left(\frac{R}{z-a} \right) - \psi \left(-\frac{R}{z+a} \right) \right] + C_1 \ln \left| \frac{z+a}{z-a} \right|,$$

где C_0 и C_1 – действительные постоянные; $\varphi(z)$ и $\psi(z)$ – аналитические в единичном круге $|z| < 1$ функции; $\epsilon_0 = r/R$.

Однако ввиду того, что диаметр выходного материала ~ 60 мм, воздушный зазор в пределах до 1,0 мм, ϵ_1 материала доходит до 20...25 и ϵ_0 воздуха равна 1,0, то погрешность измерения не превышает 0,006%.

$$\text{Тогда} \quad C_{\text{пп}} = L \frac{4\epsilon}{\pi} \ln \frac{4}{\varphi}. \quad (3)$$

Метод определения влажности материала. Для определения емкости C диэлектрической проницаемости (ϵ) и тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}(\delta)$ необходимо учесть прежде всего влажность самого материала

$$W = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{в}} + m_{\text{м}}}, \quad (4)$$

где $m_{\text{в}}$, $m_{\text{м}}$ – масса воды и увлажненного материала соответственно.

Учитывая что входной поток материала мгновенно распространяется по всему объему увлажнителя и полностью перемешивается со всей массой материала,

находящейся в нем, влажность смеси в аппарате будет равна влажности готового материала при выходе

$$W = \frac{Q_{\text{вых}}^B}{Q_{\text{вых}}^B + Q_{\text{вых}}^M}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{вых}}^B$, $Q_{\text{вых}}^M$ – массовые расходы воды и материала на выходе увлажнителя.

В случае, если расход воды $Q_{\text{вх}}^B$ и сыпучего материала $Q_{\text{вх}}^M$ на входе, а следовательно, и масса материала и воды в увлажнителе изменяются во времени, приращение влажности готового продукта из выражения (3) будет равно

$$dW = \frac{m_M dm_B - m_B dm_M}{(m_B + m_M)^2}. \quad (6)$$

Производя почленное деление числителя на знаменатель в правой части выражения, получим

$$dW = \frac{m_M dm_B}{(m_B + m_M)^2} - \frac{m_B dm_M}{(m_B + m_M)^2}. \quad (7)$$

Решая эту задачу как из двух частных задач, путем некоторых математических преобразований окончательно получим влажность для реального активного увлажнителя:

$$W(P) = [Q_{\text{вх}}^B(P)R_1 \frac{T_2 P + 1}{T_2 P + 1} - Q_{\text{вх}}^M(P)R_2 \frac{T_3 P + 1}{T_1 P + 1}]e^{-\rho t_3}, \quad (8)$$

где $T_1 = \frac{m_M}{Q_{\text{вх}}^M}$ – постоянная времени увлажнителя; $T_2 = T_1 \frac{N}{N + Q_{\text{вх}}^M}$;

$$T_3 = T_1 \frac{Q_{\text{вх}}^B + 2L}{Q_{\text{вх}}^B + L}; \quad t_3 = \frac{T_3}{T_1} = \frac{l}{V_l}; \quad R_1 = \frac{1}{Q_{\text{вх}}^M + N}; \quad R_2 = \frac{Q_{\text{вх}}^B}{Q_{\text{вх}}^B + L};$$

N – амплитуда скачка; l – длина увлажнителя; V_l – линейная скорость перемещения материала; $(-)$ – время запаздывания; P – функция преобразования Карсона-Лапласа [4].

Экспериментальный метод определения влажности керамического увлажненного материала. Согласно вышеуказанному, наиболее приемлемым методом определения влажности в производственных условиях является электрофизический, т.е. измерение (ϵ) и $\text{tg}(\delta)$ непрерывным способом. Схема применяемой установки показана на рис. 2.

Практически применяемый сухой материал (полевой шпат, каолин, песок силикатный) после увлажнения, т.е. в тестообразном виде, подается в поршневой шнек.

Величина расхода материала при определенном выпускном отверстии определяется путем контроля времени истечения материала по формуле

$$Q = m_n / t_{\text{ист}},$$

где Q – массовый расход материала; m_n – масса вытекшего материала; t – время истечения.

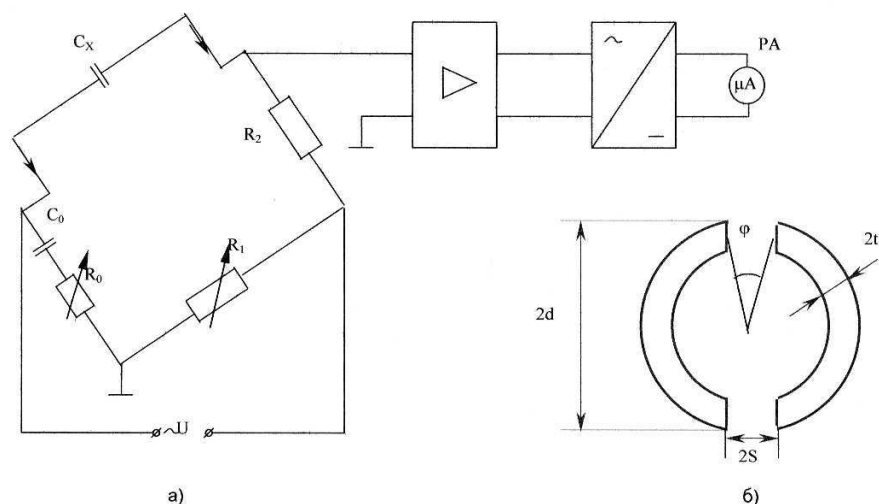


Рис.2

Минимальное число проб ($\Pi_{\min}$), необходимое для достоверной оценки качества увлажнения материала, устанавливается на основании теоремы Ляпунова:

$$\Pi_{\min} \geq t_{\alpha}^2 S^2 / \Delta^2 = t_{\alpha}^2 V_c / \varepsilon^2, \quad (9)$$

где t_{α} - нормированное отклонение, определяемое с помощью таблиц [5]; S - среднее квадратическое отклонение влажности материала в пробах; V_c - коэффициент вариации (обычно не более 15%); Δ - предельная относительная погрешность (обычно до 5%).

Тогда $\Pi_{\min} = 1,8 \cdot 1,5\% / 25\% = 1,1$.

Принимаем $\Pi_{\min} = 3$.

Важным вопросом в определении влажности керамической увлажненной массы является выбор электродов ПП и разработка метода расчета емкости такого конденсатора.

Таблица

	Влажность, %	C, pf	tgδ
W_0	0	94,05	0,1066
W_1	10	106,7	0,0966
W_2	20	118,4	0,0912
W_3	30	127,9	0,0871

Технологическая особенность в производстве диктует применение конструкций электродов из двух полукруглых половинок, охватывающих круглую тестовую (пастообразную) массу.

Для данной цели наиболее подходящими являлись обкладки конденсатора с полукруглыми профилями (рис.2б). Результаты экспериментальных данных приведены в таблице, а зависимость C от W приводится на рис.3, где заштрихованная зона ($W^I - W^{II}$) является приемлемой влажностью материала для получения наиболее лучшего качества изделия.

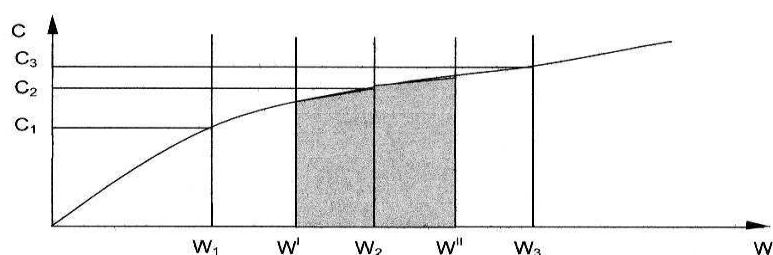


Рис.3

Сравнивая результаты измерения влажности (т.е. $C=F(W)$), можно установить, что влажность, измеренная методом взвешивания, как наиболее приемлемый показатель с точки зрения получения высокого качества изделия, должна находиться в промежутке $W^I - W^{II}$, который приравнивается к 20(5% увлажненного материала. Кроме того, разработанный метод позволяет проводить дистанционный контроль для измерения влажности керамических и сыпучих материалов при выходе из шнек-пресса и автоматизировать весь технологический процесс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Берлинер М.А.** Измерение влажности. - М.: Энергия, 1973. – 136 с.
2. **Кричевский Е.С.** Контроль влажности твердых и сыпучих материалов. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 136 с.
3. **Деч Г.** Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования. - М.: Наука, 1971.- 288с.
4. **Шторм Р.** Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. - М.: Мир, 1970. – 368 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.06.2002.

Կ.Զ. ՄԻՐԶԱԲԵԿՅԱՆ

ԱՆՀԱՄԱՍԵՌ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ԽՈՆԱՎՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄՆ ՈՒ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԷԼԵԿՏՐԱՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

Մշակվել է դիէլեկտրիկական թափանցելիության և կորուստների անկյան տանգենսի չափման միջոցով շնեկ /փողրակ-փոխադրիչ/ մամլիչի ելքում կերամիկական նյութերի խոնավության որոշման մեթոդ, որը թույլատրում է ավտոմատացնել տեխնոլոգիական գործընթացը:

K.G. MIRZABEKYAN

RESEARCH AND DETERMINATION OF INHOMOGENEOUS MATERIAL HUMIDITY BY ELECTROPHYSICAL METHOD

A method of determining ceramic and inhomogeneous material humidity on the output of auger press by measuring the permittivity ϵ and the loss tangents of a dielectric $\tan \delta$ is developed. This method allows to automate the technological process.