

УДК 69:691.4

## ОСОБЕННОСТИ ПОДХОДА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ В ПРЕССУЕМЫХ ОБРАЗЦАХ ИЗ ПОРОШКООБРАЗНЫХ СМЕСЕЙ

© 2010 А.Н. Потапенко, Н.С. Требукова, А.Н. Семернин

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Поступила в редакцию 21.11.2010

Рассмотрен подход, связанный с определением областей с неравномерной плотностью в прессуемых образцах из порошкообразных смесей на основе вычислительных экспериментов и с возможностью его применения для проектирования пресс-форм.

Ключевые слова: *прессование, плотность, математическое моделирование, автоматизированная система*

В процессе производства изделий из порошкообразных смесей применяется прессование полуфабрикатов [1]. Однако в настоящее время не существует прямых методов экспериментальной оценки качества получаемого при прессовании полуфабриката, причём в первую очередь невозможно выполнить экспресс-анализ на основе экспериментальных исследований распределения плотности  $\rho$  в горизонтальном и вертикальном сечениях прессуемого образца, так как это распределение зависит от многих факторов, в том числе и от способа прессования. В целом имеется проблема определения физического параметра в процессе прессования полуфабрикатов из порошкообразных смесей в виде некоторой картины распределения плотности в них. Если бы имелась возможность определения этих данных, то соответственно они бы позволили судить о прочности полученных полуфабрикатов ещё до начала процесса термообработки, а также давали бы возможность проектировать пресс-формы с возможностью управления этими параметрами. Среди существующих способов прессования отметим основные три, при которых порошкообразная смесь уплотняется: помощью прессов с односторонним давлением; с помощью прессов с двухсторонним давлением; с помощью прессов с двухсторонним давлением, прикладываемым последовательно.

*Потапенко Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, профессор кафедры электротехники и автоматики. E-mail: potapenko@intbel.ru*

*Требукова Надежда Семеновна, старший преподаватель кафедры электротехники и автоматики. E-mail: ntrebukova@yandex.ru*

*Семернин Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматики. E-mail: SAN@intbel.ru*

Известно, что однородное уплотнение достигается только при всестороннем постоянном прессовании, что в теоретическом плане возможно только для жидкости. Анализ известных и специально поставленных экспериментальных исследований [2] распределения плотности  $\rho$  при одностороннем прессовании с учётом неподвижной формы показывает, что распределение  $\rho$  в целом не равномерно в вертикальном сечении образца с учётом приложения давления в этом же направлении, причём экспериментальные данные при одностороннем прессовании показывают, что распределение  $\rho$  может быть неравномерно не только в вертикальном сечении образца, но и в горизонтальном его сечении. Эти результаты о распределении плотности образца при одновременном двухстороннем давлении и с учётом неподвижной формы показывают, что распределение  $\rho$  более равномерно в вертикальном сечении образца, чем при одностороннем прессовании.

**Цель данной работы** заключается в разработке подхода для определения распределения плотности в сечениях прессуемых образцов из различных порошкообразных смесей, зависящей от многих факторов, в том числе и от способа прессования.

Существует подход [3, 4], позволяющий с помощью математического моделирования определять распределения плотности в горизонтальных и вертикальных сечениях образцов, полученных из порошкообразных смесей. С помощью вычислительного эксперимента имеется возможность получения картины распределения плотности в образцах, что позволяет в целом судить о их прочности. На основе подхода [3] были выполнены исследования

распределения плотности образцов при одностороннем и двухстороннем давлениях с неподвижной формой для получения изделий с более равномерной плотностью с использованием следующего уравнения

$$g^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + v \frac{\partial^3 \psi}{\partial t \partial x^2} + 2\alpha \left( g^2 \frac{\partial \psi}{\partial x} + v \frac{\partial^2 \psi}{\partial t \partial x} \right) - \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

где  $g^2 = E/\rho$ ,  $E$  – модуль упругости смеси;  $\rho$  – плотность данной смеси;  $\psi$  – сжатие смеси в сечении  $x$  в момент времени  $t$ ;  $v = \eta/\rho$ , причём  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости смеси;  $2\alpha = f\xi/R$ , причём  $f$  – коэффициент трения смеси о стенки пресс-формы;  $\xi$  – коэффициент бокового распора порошкообразной смеси;  $R$  – гидравлический радиус пресс-формы.

Для учета внешнего воздействия на порошкообразную смесь при перемещении штампа  $h_1(t)$  под воздействием усилия прессования происходит сжатие смеси  $\psi_1(t)$ , изменяющееся во времени, например, по S-образной характеристике. При этом принимается следующее нестационарное условие в виде зависимости [3]:

$$\psi_1(t) = \psi_0 \left( 1 - \left( 1 + \frac{t}{\tau_0} \right) e^{-t/\tau_0} \right), \quad (2)$$

где  $\tau_0$  – постоянная времени, характеризующая процесс изменения  $\psi_1(t)$  во времени;  $\psi_0$  – максимальное сжатие смеси. Результаты расчёта при прессовании силикатных образцов приведены на рис. 1 с учётом данных [3].

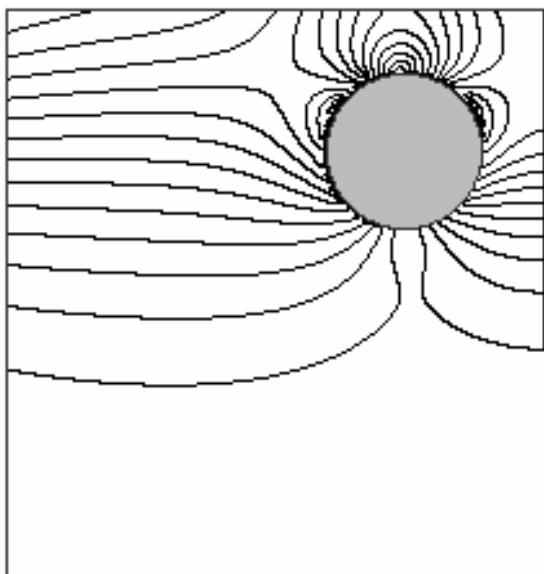


Рис. 1. Распределение линий равного уровня  $\rho^*$  (представлено в относительных величинах)

Анализ результатов (рис. 1) показывает, что асимметричное расположение в верхней части пресс-формы вкладыша цилиндрической формы приводит к существенной концентрации  $\rho^*$  в различных направлениях после прессования образца. При этом наблюдаются характерные зоны распределения плотности по бокам вкладыша и в его верхней и нижней частях. Такого типа концентрации плотности по различным сторонам вкладыша при последующей термообработке могут привести к появлению трещин, а возможно даже к разрушению образца с учётом зоны распределения плотности по вкладышу вблизи его боковой поверхности. Таким образом, имеется возможность определения областей с неравномерной плотностью при прессовании полуфабрикатов, особенно это важно для элементов приборостроительной промышленности, например, при прессовании различных элементов для приёмопередающих устройств, телекоммуникационных систем и др. Однако определить распределение плотности, например, в керамических полуфабрикатах после прессования в вертикальных и горизонтальных сечениях весьма сложно, причём как с помощью экспериментальных исследований, так и на основе вычислительных экспериментов. Это связано с тем, что для вычислительных экспериментов не определены постоянные коэффициенты, входящие в уравнение (1). Коэффициенты предлагается определять и корректировать в процессе производства на основании опытных данных. Для получения такой информации необходимо использовать современные подходы автоматизированного мониторинга исследуемых процессов на базе автоматизированных систем нижнего уровня, входящих в состав многоуровневой автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) производства керамических изделий.

Структура АСУТП (рис. 2) среднего и верхнего уровней содержит контроллеры среднего уровня  $KСУ_i, \dots, KСУ_j$ , связанные с контроллерами регулирующих устройств  $РУ_i, \dots, РУ_n$  нижнего уровня на основе интерфейса RS-485, устройства для «разветвления» сигналов в сегменте сети  $HUB_i, \dots, HUB_j$ . С учётом территориально-распределённого оборудования при производстве керамических изделий в АСУТП используется интеграция различных сетей, например, на базе RS-485 и технологий Ethernet локальной вычислительной сети (ЛВС). В структуре системы имеются автоматизированные рабочие места (АРМ) специалистов предприятия  $АРМ_k$  и операторов управле-

ния распределёнными объектами АРМ<sub>i</sub>, ..., АРМ<sub>j</sub> (туннельным сушилом, туннельной печью, гидравлическим прессом и др.), центральный пульт управления ЦПУ на базе сервера с АРМ диспетчера, персональные компьютеры ПК<sub>y</sub>, ..., ПК<sub>n</sub> в сети ЛВС и персональные компьютеры ПК<sub>i</sub>, ..., ПК<sub>m</sub> в сети Internet с учётом возможного удалённого доступа к информации АСУТП и др.

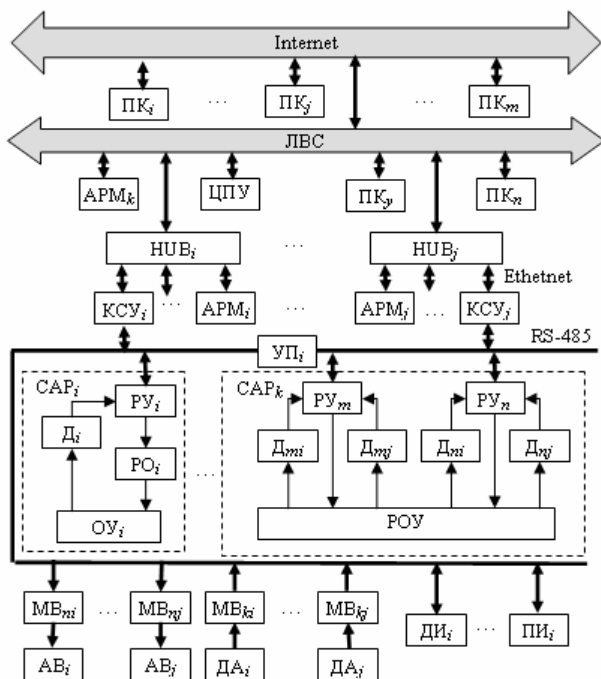


Рис. 2. Блок-схема АСУТП производства керамических изделий

Структура АСУТП нижнего уровня содержит следующие элементы, входящие в состав локальных систем автоматического регулирования САР<sub>i</sub>, ..., САР<sub>k</sub> (см. рис. 2): датчики технологических параметров Д<sub>i</sub>, ..., Д<sub>nj</sub>, объекты управления ОУ<sub>i</sub> (для процесса производства шамотного огнеупорного кирпича – это туннельное сушило, туннельная печь, гидравлический пресс двойного действия (РОУ) и др.), регулирующие устройства РУ<sub>i</sub>, ..., РУ<sub>n</sub> на базе контроллеров, регулирующие органы РО<sub>i</sub>. В автоматизированной системе предусмотрено управление типа старт/стоп агрегатами или оборудованием АВ<sub>i</sub>, ..., АВ<sub>j</sub> системы через модули ввода/вывода аналоговых и/или дискретных сигналов МВ<sub>ni</sub>, ..., МВ<sub>nj</sub>, а также применение автоматизированной системы мониторинга на базе аналоговых датчиков технологических параметров ДА<sub>i</sub>, ..., ДА<sub>j</sub> через модули ввода/вывода аналоговых сигналов МВ<sub>ki</sub>, ..., МВ<sub>kj</sub>, «интеллектуальных» датчиков ДИ<sub>i</sub> и «интеллектуальных» измерительных приборов ПИ<sub>j</sub> и др. В структуре АСУТП на нижнем уровне

используется промышленная сеть на основе RS-485, в которой установлены усилители-повторители сигнала УП<sub>i</sub>.

На нижнем уровне АСУТП для исследования особенностей процесса прессования керамических изделий из порошкообразных смесей в структуру САР<sub>k</sub> включаются дополнительные датчики для экспериментальных исследований в виде быстродействующих оптических линейных энкодеров ДИ<sub>k</sub> и датчиков давления ДИ<sub>m</sub> типа «Метран-150». Датчики давления ДИ<sub>m</sub> входят соответственно в контуры регулирования РУ<sub>m</sub> верхнего прессующего механизма и контуры регулирования РУ<sub>n</sub> нижнего прессующего механизма гидравлического пресса. Эти датчики установлены в гидравлических системах низкого и высокого давления соответственно для перемещения верхнего и нижнего штампов. Линейные энкодеры ДИ<sub>k</sub> установлены с учетом перемещения верхней траверсы со штампом и прессующей траверсы с нижним штампом относительно неподвижных колонн гидравлического пресса. Первичная информация с линейных энкодеров ДИ<sub>k</sub> и датчиков давления ДИ<sub>m</sub>, являющихся датчиками «интеллектуального» типа, поступает в систему автоматизированного мониторинга АСУТП.

Экспериментальные исследования в натурных условиях на базе автоматизированных систем нижнего уровня АСУТП, на основе «интеллектуальных» датчиков технологических параметров, осуществляющих непрерывно или с минимальным интервалом усреднения измерение параметров процесса, а затем с помощью контроллеров КСУ, осуществляющих в заданном цикле интервала усреднения круглосуточный сбор измерительных данных с этих датчиков, накопление, обработку и передачу их в систему автоматизации, будет получена информация, необходимая для углублённого исследования формуемых с помощью гидравлических прессов керамических изделий из порошкообразных смесей, а также для определения и коррекции коэффициентов в уравнении (1). Следует отметить, что при прессовании полуфабрикатов необходимо учитывать способ прессования. Результаты [3] показали, что характер распределения  $\rho$  более равномерен в вертикальном сечении образца при двухстороннем давлении, прикладываемом последовательно, чем при одностороннем, т.е. такой метод прессования является наиболее предпочтительным. Полученные результаты согласуются с экспериментальными данными [2].

**Выводы:** для получения практических результатов с учётом особенностей процессов прессования полуфабрикатов необходимо развивать математическую модель [3] в направлении её применения для различных порошкообразных смесей. В настоящее время известны постоянные коэффициенты только для прессования силикатных изделий. Важно разработать методику экспериментального определения распределения  $\rho$  в образцах с выходом на вычислительный эксперимент.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зейфман, М.И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов / М.И. Зейфман. – М.: Стройиздат, 1990. 184 с.
2. Hulsenberg, D. Maschinelle Formgebung von Keramik / D. Hulsenberg, H-G. Kruger, T. Rothis, G. Ferriere. – VEB, Deutscher Verlag fur Grundstoffindustrie, Leipzig, 1980. (Механизация процессов формования керамических изделий/ Д. Хюльзенберг, Х-Г. Крюгер, Т. Рётиг, Г. Ферриер. – М.: Стройизд., 1984. 263 с.
3. Potapenko, A.N. Modeling and Optimization Possibilities for the Process of Compaction of Objects with Cavities / A.N. Potapenko, A.G. Titov, Potapenko E.A. // In a book: Materials and Processing Trends for PM, Components in Transportation. – Munich, Germany: EPMA, 2000. V. 1. P. 102-110.
4. Ломакин, В.В. Автоматизация производства силикатного кирпича на базе программно-аппаратных комплексов управления / Автореф. дис. канд. тех. наук: спец. 05.13.06. – Белгород, 2002. 18 с.

## FEATURES OF THE APPROACH AT DEFINITION OF DENSITY DISTRIBUTION IN PRESSED SAMPLES FROM POWDER MIXTURES

© 2010 A.N. Potapenko, N.S. Trebukova, A.N. Semernin

Belgorod State Technological University named after V.G. Shuhov

The approach linked with the definition of areas with non-uniform density in pressed samples from powder mixtures on the basis of computing experiments and with an opportunity of its application for designing the mold tools is considered.

Key words: *pressing, density, mathematical modeling, automized system*

---

Anatoliy Potapenko, Candidate of Technical Sciences, Professor  
at the Department of Electrical Engineering and Automation.

E-mail: potapenko@intbel.ru

Nadezhda Trebukova, Senior Teacher at the Department of  
Electrical Engineering and Automation. E-mail: ntrebukova@yandex.ru

Andrey Semernin, Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor at the Department of Electrical Engineering and Automation.

E-mail: SAN@intbel.ru