



## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСНЫХ ФОРМОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Виталий КУЛИКОВ<sup>1</sup>, Светлана КВОН<sup>2</sup>, Елена ЩЕРБАКОВА<sup>3</sup>, Татьяна КОВАЛЁВА<sup>4</sup>

*Карагандинский государственный технический университет,  
Караганда, Казахстан*

*Эл. почта: <sup>1</sup>kulikov-mlp@mail.ru; <sup>2</sup>svetlana.1311@mail.ru; <sup>3,4</sup>mlpikm@mail.ru*

**Аннотация.** Одной из важных задач, стоящих перед наукой и практикой является повышение производительности изготовления изделий из дисперсных материалов за счет модернизации существующего оборудования и внедрения новых технологических процессов. В настоящее время недостаточно разработаны математические модели формирования прочных дисперсных систем, применительно к прессуемым и нагреваемым смесям. Внедрение новых математических моделей формообразования дисперсных смесей и способов изготовления прессованных изделий позволит повысить производительность, улучшить качество изготавливаемой продукции, снизить себестоимость продукции, а значит, сделает ее конкурентоспособной на рынке товаров.

**Ключевые слова:** дисперсные смеси, технологические свойства, математическая модель.

### Введение

В природе, технике, в том числе и в производстве новых материалов, часто встречаются дисперсные системы, в которых одно вещество равномерно распределено в виде частиц внутри другого вещества. Это относится, в том числе, к процессу таблетирования при производстве полимеров, изготовлении твердосплавных напаяек для режущего инструмента, к шихтовым материалам, брикетам, получаемым в металлургической практике, и некоторым другим смесям, широко используемым в производстве новых и традиционных материалов. Все это в полной мере относится и к формовочным материалам, используемым в металлургическом и литейном производстве.

Большинство формовочных смесей в металлургии и литейном производстве относятся к трёхфазовым системам (Т:Ж:Г), для которых структурно-механические (реологические свойства) являются определяющими. При этом главной особенностью дисперсных систем является сильно развитая межфазная поверхность и большое значение избыточной поверхностной энергии Гиббса. Такие системы характеризуются самопроизвольным образованием пространственных структур, которые определяют их основные структурно-механические свойства. В свою очередь, образование простран-

ственных структур и агрегатов, особенно при наличии внешней нагрузки, с различными типами контактов между твёрдыми частицами, является на наш взгляд, тем основным фактором, который определяет свойства дисперсных систем в различных технологических процессах. Существующие математические модели не учитывают это обстоятельство, что значительно снижает их эффективность (Matveenko *et al.* 1998; Maksimov *et al.* 2005; Gulyaev *et al.* 1987; Isagulov *et al.* 2004).

Применение компьютерных технологий и моделирования позволяет сделать расчеты параметров машин, оборудования и технологических процессов производства значительно более производительно и точно, что существенно повышает качество разработок промышленной техники и технологии. Необходимо иметь в виду, что эффективное воздействие на организацию качественной бесперебойной продукции достигается только при правильном выборе технологических процессов, соответствующем техническом оснащении производственных, в том числе и литейных цехов, возможности заранее предусмотреть, как отразятся на заготовках и готовых изделиях те или иные факторы. Все это можно достигнуть путем информатизации и переоборудования в производственных цехах.

## Область исследования

Построение математических моделей процессов уплотнения для описания напряженно-деформированного состояния проводится в целях выбора рациональных схем и режимов уплотнения, позволяет управлять структурой изделий. Вследствие этого появляется возможность регулирования свойств изделий, таких как плотность, прочность, газопроницаемость, шероховатость. Управление свойствами дисперсных материалов осуществляется через построение математических моделей и тем самым осуществляется прогнозирование технологических параметров для обеспечения заданных характеристик.

В частности, одним из важных технологических свойств дисперсных смесей является газопроницаемость, то есть их способность пропускать газы. Возникает необходимость определить зависимость газопроницаемости от условий прессования.

При статическом прессовании на дисперсную смесь действует давление прессовой колодки и давление воздуха в слое (Matveenko *et al.* 1998).

Давление прессовой колодки определяется по зависимости:

$$p_K = \xi \cdot f \cdot \sigma_0 \cdot z \cdot \frac{\Pi}{F_{\text{мам}}}, \quad (1)$$

где  $\xi$  – коэффициент бокового давления;  $f$  – коэффициент внешнего трения;  $\sigma_0$  – давление прессовой колодки на границе с дисперсной смесью;  $\Pi$  – периметр матрицы;  $F_{\text{мам}}$  – площадь матрицы,  $z$  – текущая координата рассматриваемого слоя смеси по высоте.

Давление от воздуха в слое смеси будет определяться по зависимости:

$$p_B = (n-1) \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \cdot z, \quad (2)$$

где  $n$  – пористость смеси;  $p$  – давление воздуха в элементарном слое смеси.

В Maksimov *et al.* (2005) определена зависимость давления  $P$  от плотности и массы смеси:

$$P = -\frac{1}{\alpha} \cdot \ln \left\{ \frac{\alpha}{k_0} \left[ \rho_{np} - \frac{m}{F_{np} \cdot (H-L)} \right] \right\}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент потери сжимаемости;  $k_0$  – начальное значение коэффициента прессования;  $\rho_{np}$  – предельная плотность сплошного тела;  $m$  – масса смеси;  $F$  – площадь прессовой колодки;  $H$  – высота заполнения матрицы;  $L$  – расстояние, пройденное поршнем при прессовании.

Давление на смесь будет суммой давлений от прессовой колодки и внутрипорового воздуха:

$$\xi \cdot f \cdot \sigma_0 \cdot z \cdot \frac{\Pi}{F_{\text{мам}}} + (n-1) \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \cdot z = -\frac{1}{\alpha} \cdot \ln \left\{ \frac{\alpha}{k_0} \left[ \rho_{np} - \frac{m}{F_{np} \cdot (H-L)} \right] \right\}, \quad (4)$$

Газопроницаемость связана с пористостью следующей зависимостью (Gulyaev *et al.* 1987):

$$\Gamma = d^2 \cdot \frac{S^2}{96 \cdot (1-n) \cdot \eta}, \quad (5)$$

где  $d$  – диаметр зерна;  $S$  – площадь просвета между частицами смеси;  $\eta$  – динамическая вязкость газа.

Таким образом, подставляя (4) в (5), можно выразить значение газопроницаемости:

$$\Gamma = \frac{d^2 \cdot S^2 \cdot \frac{\partial p}{\partial y}}{\left( -\frac{1}{\alpha} \cdot \ln \left\{ \frac{\alpha}{k_0} \left[ \rho_{np} - \frac{m}{F_{np} \cdot (H-L)} \right] \right\} - \xi \cdot f \cdot \sigma_0 \cdot z \cdot \frac{\Pi}{F_{\text{мам}}} \right) \cdot 96 \cdot \eta}. \quad (6)$$

Средний диаметр зерен определяется их фракцией. Очевидно, что площадь просвета между частицами будет зависеть от укладки зерен и их формы.

При этом элементарное внутрипоровое давление можно определить по Isagulov *et al.* (2004):

$$\partial p = \frac{1}{1 + B_s \frac{N_a V_0}{P_0}} \left\{ \frac{1}{3} (\sigma_1 + 2\sigma_3) + \frac{\sqrt{2}K}{3\mu^2} (\sigma_1 - \sigma_3) \right\}, \quad (7)$$

где  $p_0$  – начальное значение порового давления, обычно до приложения механической нагрузки, равное атмосферному;  $N_a$  – начальный объем воздуха в порах в единице объема смеси;  $B_s$  – коэффициент, зависящий от фракции и формы песка;  $V$  – коэффициент изменения объема;  $\mu$  – коэффициент Пуассона смеси;  $K$  – коэффициент пропорциональности.

Определено напряжение релаксации  $\sigma_p$  песчано-смоляной смеси:

$$\sigma_p = \frac{E_0 \cdot E_1 \cdot \varepsilon_p}{2 \cdot (E_0 + E_1)}, \quad (8)$$

где  $E_0, E_1$  – соответственно модуль упругости, в момент времени  $t = 0$  и  $t = t_1$ ;  $\varepsilon_p$  – деформация релаксации.

Зависимость (9) есть уравнение ползучести песчано-смоляной смеси при приложенной статической нагрузке на смесь:

$$\varepsilon = \sigma \cdot \left[ \frac{2 \cdot \tau_1}{E_0} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) \right], \quad (9)$$

где  $\tau_1$  – период ползучести в момент времени  $t = t_1$ .

## Выводы

Определена газопроницаемость дисперсной смеси в зависимости от расположения слоя в объеме смеси. Полученные математические модели формообразования дисперсных смесей можно использовать в производстве новых материалов, в частности полимерных изделий, твердосплавных материалов методами порошковой металлургии и других.

## Литература

- Gulyaev, B. B.; Kornushkin, O. A.; Kuzin, A. V. 1987. *Formovochnye protsessy*. L.: Mashinostroenie. 264 s.
- Isagulov, A. Z.; Malyshev, V. P.; Kulikov, V. Yu. 2004. Vliyanie vnutriporovogo vozdukha na napryazhennoe sostoyanie dispersnoy sredy pri staticheskoy nagruzke, *Trudy universiteta* 3: 34–36.
- Maksimov, E. V.; Isagulov, A. Z.; Kulikov, V. Yu. 2005. Mekhanizm uplotneniya sloya dispersnykh chastits i osobennosti vza-imodeystviya teplonositelya s nimi, *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchenoy 80-letiyu E. A. Buketova*, 23–24 marta 2005, Karaganda, 422–429.
- Matveenko, I. V.; Isagulov, A. Z.; Dayker, A. A. 1998. *Dinamicheskie i impul'snye protsessy i mashiny dlya uplotneniya liteynykh form*. Almaty: Gylym (Nauka). 345 s.

## RESEARCH OF TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF DISPERSED MOLDING MATERIALS

V. Kulikov, S. Kvon, E. Serbakova, T. Kovaleva

### Abstract

One of the important problems of science and practice is to increase the productivity of manufacturing products from dispersed materials through the modernization of existing equipment and the introduction of new technological processes. The mathematical models of formation of disperse systems, applied to pressed and heated mixtures, are insufficiently developed so far. The introduction of new mathematical models of formation of disperse mixtures and methods of manufacture of pressed products will increase the productivity, improve the quality of manufactured products, reduce production costs and increase the competitiveness of the products.

**Keywords:** dispersed mixture, technological properties, mathematical model.

## DISPERSINIŲ FORMAVIMO MEDŽIAGŲ TECHNOLOGINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

V. Kulikov, S. Kvon, E. Serbakova, T. Kovaleva

### Santrauka

Viena iš svarbių mokslo ir praktikos problemų yra padidinti gaminių iš dispersinių medžiagų gamybos našumą modernizuojant įrangą ir taikant naujus technologinius procesus. Šiuo metu nepakankamai išstbulinti presuojamų ir kaitinamų mišinių dispersinių sistemų formavimosi matematiniai modeliai. Naujų dispersinių mišinių formavimo matematinų modelių ir gamybos metodų įdiegimas leis padidinti presuotų gaminių iš dispersinių formavimo medžiagų gamybos našumą, pagerinti gaminamos produkcijos kokybę, sumažinti gamybos išlaidas ir padidinti produkcijos konkurencingumą.

**Reikšminiai žodžiai:** dispersiniai mišiniai, technologinės savybės, matematinis modelis.