

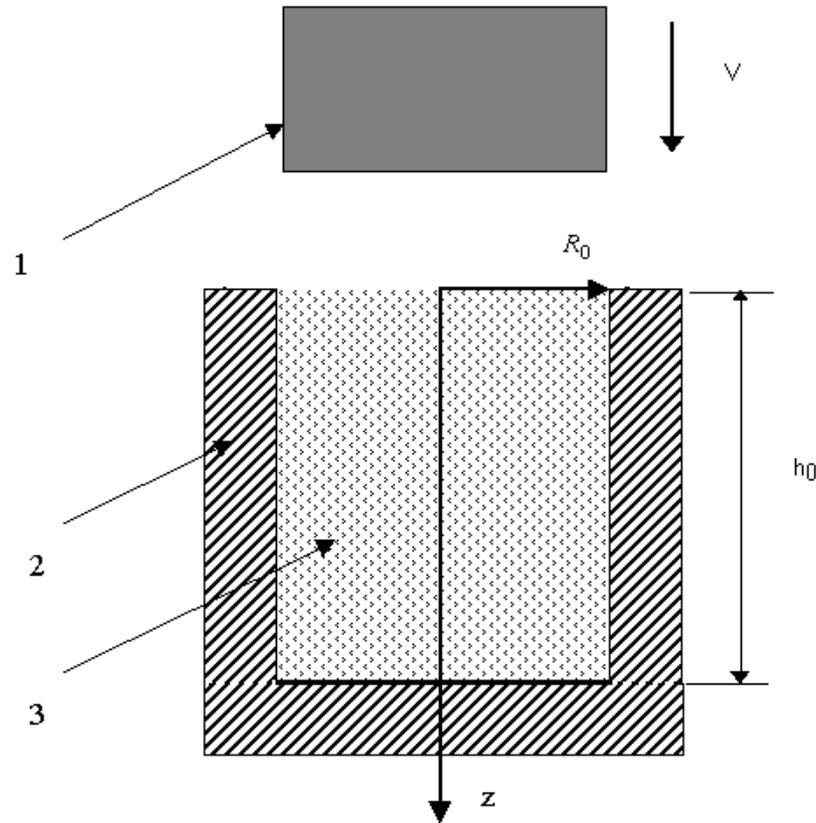
Модель процесса динамического прессования порошка

Поляков А. П.

ИМАШ УрО РАН

Процессы динамического прессования позволяют отказаться от использования крупногабаритного оборудования, повысить производительность процесса прессования. При разработке технологических параметров указанных процессов следует обеспечить режим нагружения, позволяющий получить заготовку с заданными свойствами. Для этого необходимо исследовать влияние на процесс нагружения размеров и исходной плотности заготовки, давления на фронте ударной волны, скорости инструмента, повышения предела текучести материала в процессе деформации, трения заготовки об инструмент и т.д. Динамическое прессование порошков исследовано многими авторами. Однако известные решения не дают ответа на вопрос о распределении остаточной пористости по высоте заготовки, оно полагается равномерным. Это предположение может существенно повлиять на результат если необходимо получить заготовку с остаточной пористостью порядка 0,1...0,15 и выше. Не рассматривается влияние трения на процесс уплотнения.

Ударное прессование пористой заготовки



Основные допущения

- В исходном состоянии среда однородна, имеет постоянную плотность
- Пластические деформации локализованы на фронте ударной волны
- Время протекания процесса считаем малым, термодинамические эффекты не учитываются

$$\rho \{v - \dot{\varphi}(t)\} = -\rho_0 \dot{\varphi}(t)$$

$$\sigma_{zz} - \sigma_{zz}(\rho_0) = \rho \{v - \dot{\varphi}(t)\} v = -\rho_0 \dot{\varphi}(t) v$$

$$\sigma_{ji,j} = \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho v_{i,j} v_j \quad \sigma_{zz} = \rho_0 \frac{\partial v_z}{\partial t} z - p(t)$$

$$\sigma_{zz} - \sigma_{zz}(\rho_0) = -v^2 \frac{\rho_0}{(1 - \rho_0 / \rho)}$$

$z = \varphi(t)$ - координаты точек, принадлежащих ударной волне

$$\left[\frac{M_u}{(1 - \theta_0) S \rho_\kappa} + \varphi(t) \right] v' = -\dot{\varphi}(t) v + \frac{\sigma_{zz}(\theta_0)}{(1 - \theta_0) \rho_\kappa} \quad \frac{M_u}{(1 - \theta_0) \rho_\kappa S} v' = -\dot{\varphi}(t) v - \varphi(t) v' + \frac{\sigma_{zz}(\theta_0)}{(1 - \theta_0) \rho_\kappa} = -\{\varphi(t) v\}' + \frac{\sigma_{zz}(\theta_0)}{(1 - \theta_0) \rho_\kappa}$$

обозначим $A = \frac{M_u}{(1 - \theta_0) \rho_\kappa S}$ $B = \frac{\sigma_{zz}(\theta_0)}{(1 - \theta_0) \rho_\kappa}$ тогда $v = \frac{Av_0 + Bt}{A + \varphi(t)}$

$\varphi(t) = A \frac{\beta \tilde{t}}{v_0 - \beta \tilde{t}}$ $\varphi'(t) = -B \frac{\beta}{(v_0 - \beta \tilde{t})^2}$ - закон движения ударной волны

$\rho = \rho_0 \frac{\varphi'(0)(v_0)^2}{\varphi'(0)(v_0)^2 - \left(1 + B \frac{\varphi(t)}{(A + \varphi(t))\varphi'(0)v_0}\right) \left(\frac{Av_0}{A + \varphi(t)}\right)^3}$ - распределение плотности

Отраженная волна

Учет сил трения

Неравномерная начальная пористость

$\sigma_{zz}(\rho_{om}) = 2\sigma_{zz}(\rho_{y0}) - \sigma_{zz}(\rho_0)$

$\sigma_{rz} = -f\tau_s^*(r/R)$

$\sigma_{zz} - \frac{2f}{R} \int_0^z \tau_s^* dz = \frac{\partial v_z}{\partial t} \int_0^z \rho dz - p(t)$

$\frac{\Delta v_0}{\Delta h_0} \langle \varphi_0'(t) \rangle = \frac{\Delta v_1}{\Delta h_1} \langle \varphi_1'(t) \rangle$

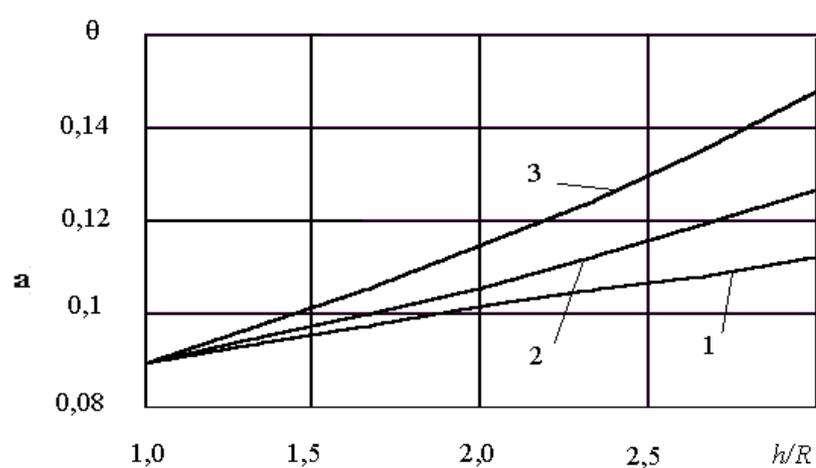
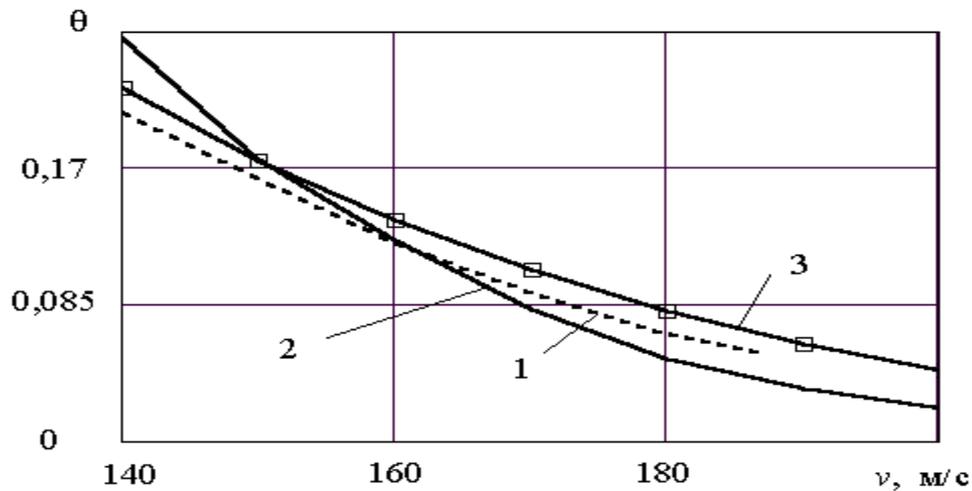
$\sigma_{zz} - \frac{2f}{R} \int_0^z \tau_s^* dz = \rho_0 \frac{\partial v_z}{\partial t} z - p(t)$

$A^* v' = -\{\varphi(t)v\}' + B^*$

$\sigma_{zz} - \sigma_{zz}(\rho_0^*) = -\rho \varphi'(t)v = -\rho_0^* \{v + \varphi(t)\}'$

$B^* = B - \frac{2f}{R} \int_0^z \tau_s^* dz / \{(1 - \theta_0) \rho_\kappa\}$

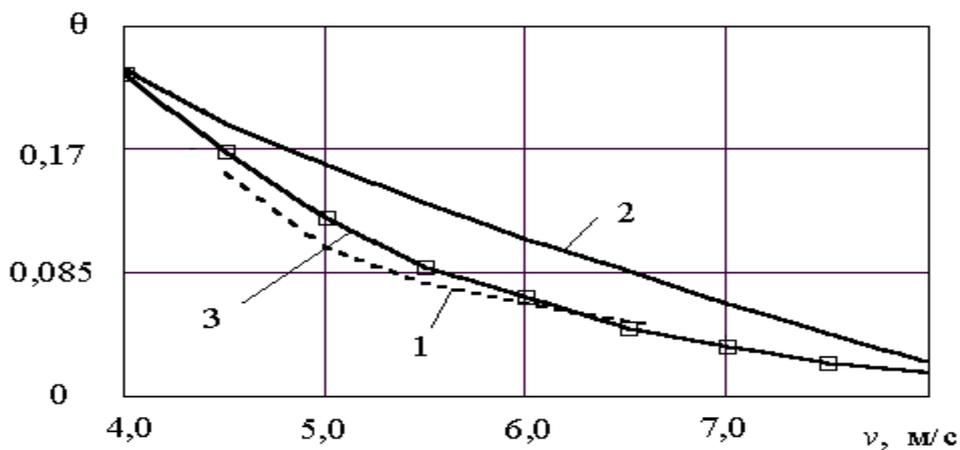
$A^* = A - (\Delta\rho / \rho_0) \varphi(t), \quad \Delta\rho = \langle \rho \rangle - \rho_0$



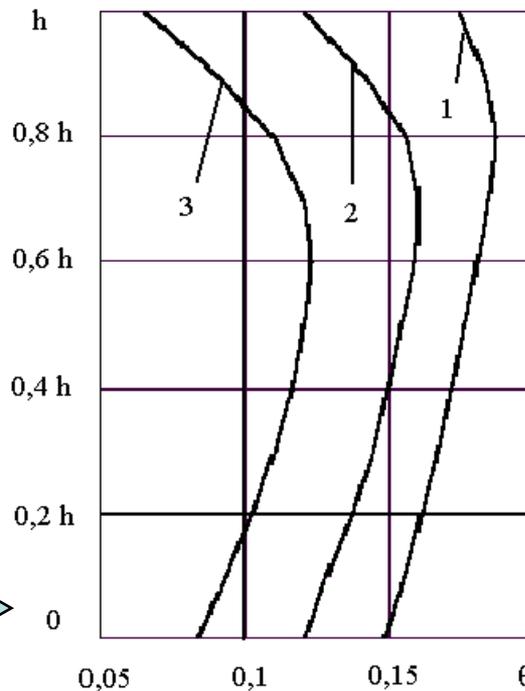
Остаточная пористость заготовки в зависимости от отношения h_0/R и коэффициента трения.



1 - $f = 0$; 2 - $f = 0,1$; 3 - $f = 0,2$



б)



$v_0 = 180 \text{ м/с}$

$v_0 = 210 \text{ м/с}$

$v_0 = 240 \text{ м/с}$

Сравнение результатов расчета и эксперимента при средней (а) и малой (б) начальной скорости удара.

Кривые 1,2 – данные Г.М. Ждановича (а) и Г.Г. Сердюка (б).

1 - эксперимент; 2 – расчет; 3 – расчет автора.

распределение остаточной пористости по высоте



Выводы

Построена математическая модель динамического прессования порошковой заготовки в цилиндрическом контейнере, позволяющая в зависимости от начальной пористости, размеров заготовки, массы и скорости инструмента, сил трения определять величину и характер распределения остаточной пористости. При динамическом прессовании массивным бойком силы трения слабо меняют характер изменения плотности по высоте, приводя только к увеличению остаточной пористости. Различие в величине остаточной пористости зависит от соотношения размеров заготовки и трения. При прессовании с высокими скоростями пористость распределяется по высоте неравномерно. С увеличением начальной скорости инструмента зона достижения минимальной остаточной пористости из области контакта заготовки с донной частью контейнера “смещается” в область контакта с инструментом.

ЛИТЕРАТУРА

1. B. M. Butcher, M. M. Carroll and A. C. Holt, *J. Appl. Phys.* **45**, 3864-3875 (1974).
2. G. M. Zhdanovich, *Theory of Pressing of Metal Powders* (Foreign Technology Division, Wright-Patterson Air Force, OH, 1971), p. 262.
3. J. Rojek, S. Nosewicz, K. Jurczak, M. Chmielewski, K. Bochenek, K. Pietrzak, *Comp. Part. Mech.* **3**, 513–524 (2016).
4. V. V. Ivanov and A. A. Nozdrin, *Technical Physics Letters*, **23**, 527-528 (1997).
5. S. Hørlück and P. Dimon, *Physical Review E* **60**, 671-686 (1999).
6. A. D. Resnyansky and N. K. Bourne, *J. Appl. Phys.* **95**, 1760-1769 (2004).
7. G. Sh. Boltachev, A. S. Kaygorodov and N. B. Volkov, *Acta Mechanica* **207**, 223-234 (2009).
8. O. V. Roman, V. T. Shmuradko and G. D. Tarasov, *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, **79**, 817-823 (2006).
9. W. K. Nowacki, *Stress Waves in Non-Elastic Solids* (Pergamon Press, Oxford, U.K, 1978), p. 182.
10. A. P. Polyakov, *Russian Journal of Non-Ferrous Metals* **46**, 18-25 (2005).