

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ УПРУГОПЛАСТИЧНОСТИ К РАСЧЕТУ ПРОЦЕССОВ СПЕКАНИЯ

Н.Г.Бураго¹, И.С.Никитин²

¹ ИИМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, Москва

² РГТУ-МАТИ им. К.Э.Циолковского, Москва

В настоящей работе обычная методика расчета упругопластических деформаций [1] адаптирована к задачам теории спекания. Исходные уравнения имеют вид [2-3]

$$d\mathbf{x}/dt = \mathbf{v}, \quad d\rho/dt = -\rho\nabla \cdot \mathbf{v}, \quad \rho d\mathbf{v}/dt = \nabla\boldsymbol{\sigma} + \rho\mathbf{g}, \quad \boldsymbol{\sigma} = -p\mathbf{I} + \boldsymbol{\sigma}'$$

$$\boldsymbol{\sigma}' = 2\mu(\boldsymbol{\varepsilon}' - \boldsymbol{\varepsilon}_p'), \quad \rho c_v dT/dt = \boldsymbol{\sigma} : \nabla \otimes \mathbf{v} + \nabla \cdot (k_T \nabla T) + \rho r, \quad p = -(\boldsymbol{\sigma} : \mathbf{I})/3$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}' = \boldsymbol{\varepsilon} - (\boldsymbol{\varepsilon} : \mathbf{I})\mathbf{I}/3, \quad \mathbf{L} = \nabla \otimes \mathbf{v}, \quad d\boldsymbol{\varepsilon}/dt = (\mathbf{L} + \mathbf{L}^T)/2 - \boldsymbol{\varepsilon} \cdot \mathbf{L} - \mathbf{L}^T \cdot \boldsymbol{\varepsilon}$$

$$\mathbf{e}_p = d\boldsymbol{\varepsilon}_p/dt + \boldsymbol{\varepsilon}_p \cdot \mathbf{L} + \mathbf{L}^T \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_p = (\mathbf{e}_p : \mathbf{I})\mathbf{I}/3 + H(\boldsymbol{\sigma}' : \boldsymbol{\sigma}' - k_p^2)\lambda_p \boldsymbol{\sigma}', \quad d\theta/dt = -H(\Phi_\theta)\lambda_\theta$$

$$p = K\rho/\rho_p(\ln(\rho/\rho_p) + \beta(T - T_0)), \quad \mu = \mu(T, \boldsymbol{\varepsilon}, \boldsymbol{\varepsilon}_p, \omega, \theta), \quad K = K(T, \boldsymbol{\varepsilon}, \boldsymbol{\varepsilon}_p, \omega, \theta)$$

$$k_p = k_p(T, \boldsymbol{\varepsilon}, \boldsymbol{\varepsilon}_p, \omega, \theta), \quad \lambda_p = \lambda_p(T, \boldsymbol{\varepsilon}, \boldsymbol{\varepsilon}_p, \omega, \theta), \quad \lambda_\theta = \lambda_\theta(T, \boldsymbol{\varepsilon}, \boldsymbol{\varepsilon}_p, \omega, \theta), \quad s_\omega = s_\omega(T, \omega)$$

$$d\omega/dt = -H(\omega)\lambda_\omega(p + s_\omega), \quad \mathbf{e}_p : \mathbf{I} = 1/(1 - \omega)d\omega/dt, \quad \rho_p = \rho_0(1 - \omega)$$

где использованы традиционные обозначения. Напряжение спекания играет ключевую роль интегральной характеристики капиллярных сил, действующих на поверхности активных пор и стремящихся схлопнуть эти поры. Целью расчета является определение окончательной формы изделия и распределения остаточной пористости с учетом контакта с пресс-формой и возможного разрушения. Приводятся примеры расчетов.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы и проектов РФФИ № 12-08-00366-а и 12-08-01260-а.

Литература

1. Бураго Н.Г., Кукуджанов В.Н. Численное решение упругопластических задач методом конечных элементов. Пакет программ АСТРА. В кн. Вычислительная механика твердого деформируемого тела, Вып. 2, М.: Наука, 1991. С. 78-122.
2. Скороход В.В. Реологические основы теории спекания. Киев: "Наукова думка", 1972. 151 с.