Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L, № 3, 1997, с. 167-171

УДК 621.762 МАШИНОСТРОЕНИЕ

Г.Л. ПЕТРОСЯН, А.Г. ГАЛОЯН, Г.В. МУСАЕЛЯН, А.Г. ПЕТРОСЯН

МЕТОД УЧЕТА ТРЕЩИН В ТЕОРИЯХ ПЛАСТИЧНОСТИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Քննարկված է ճաքերի պատճառով առաջացած լրացուցիչ ծակոտկենության հաշվառման հարցը ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության դեֆորմացիոն և հոսունության տեսությունների առնչություններում: Ընդունված է, որ այդ ծակոտկենությունը համեմատական է նյութի սկզբնական ծակոտկենության և տեխնոլոգիական գործընթացի բնութագրող դեֆորմացիայի արտադրյալին:

Обсуждается вопрос учета дополнительной пористости, возникшей вследствие трещин, в зависимостях деформационной теории пластичности и теории течения пористых материалов. Принимается, что эта пористость пропорциональна произведению начальной пористости материала и характеризующей деформации технологического процесса.

Библиогр. 5 назв.

The problems of accounting supplementary porosity arised owing to cracks in terms of deformation plasticity and porous material flow theories are discussed. This porosity is adopted to be proportional to initial material porosity product and typical deformation of technological processes.

Ref. 5.

Известно [1, 2], что очаги концентраций напряжений (поры и неметаллические элементы) в материалах являются причинами возникновения и распространения трещин. Исследование напряженно-деформированного состояния вокруг трещин позволяет объяснить особенности их раскрытия. При этом создается дополнительная пористость, которая играет важную роль в процессах пластического деформирования и разрушения. Учет этой пористости в зависимостях теорий пластичности пористых материалов является актуальной проблемой.

Пористость определяется как отношение обьема пор V_{Π} к объему пористого тела V: $\theta = V_{\Pi} / V$. Если объем вещества материала V_{B}, то $V_{\Pi} = V - V_{B}$.

Следовательно,

$$\theta = 1 - V_{B} / V. \tag{1}$$

Учитывая, что $V_{B} = G / \gamma_{B}$, $V = G / \gamma$ из (1) получим

$$\theta = 1 - \rho. \tag{2}$$

где G – масса тела, γ_{B}, γ – плотности вещества и пористого тела, $\rho = \gamma / \gamma_{B}$ – относительная плотность пористого тела.

Рассмотрим некоторое деформированное состояние тела, в котором призматический элемент плотностью γ имеет размеры

x, y и z. Линейные относительные деформации определяются следующими зависимостями [3]:

$$d\varepsilon_x = dx / x,\ d\varepsilon_y = dy / y,\ d\varepsilon_z = dz / z. \quad (3)$$

Согласно закону сохранения массы, имеем

$$xyz\gamma = (x + xd\varepsilon_x)(y + yd\varepsilon_y)(z + zd\varepsilon_z)(\gamma + d\gamma). \quad (4)$$

Преобразуя это выражение и пренебрегая второй и более высшими степенями малых величин, получим

$$d\gamma / \gamma = -d\varepsilon_x - d\varepsilon_y - d\varepsilon_z \quad (5)$$

Уравнение (5) можно выразить через относительную пористость материала ρ

$$d\rho / \rho = -d\varepsilon_x - d\varepsilon_y - d\varepsilon_z. \quad (6)$$

Учитывая, что $\rho = 1 - \theta$, получим

$$d\theta = (1 - \theta)(d\varepsilon_x + d\varepsilon_y + d\varepsilon_z). \quad (7)$$

При конечных деформациях из уравнения (3) имеем

$$\delta_x = \int_{x_0}^{x_1} dx / x = \ln(x_1 / x_0) = \ln[(x_0 + \Delta x) / x_0] = \ln(1 + \varepsilon_x),$$
$$\delta_y = \ln(1+\varepsilon_y),\ \delta_z = \ln(1+\varepsilon_z), \quad (8)$$

где δ_x, δ_y, δ_z и ε_x, ε_y, ε_z — соответственно логарифмические и относительные линейные деформации.

Согласно закону сохранения массы, имеем

$$x_0 y_0 z_0 \gamma_0 = x_1 y_1 z_1 \gamma.$$

Преобразуя и логарифмируя полученное выражение, получим

$$\ln x_1 / x_0 + \ln y_1 / y_0 + \ln z_1 / z_0 = \ln \gamma_0 / \gamma.$$

Учитывая, что $\gamma / \gamma_0 = \rho / \rho_0$, $\rho = 1 - \theta$, $\rho_0 = 1 - \theta_0$, а также используя (8), имеем

$$\theta = 1 - (1 - \theta_0)\exp(-\delta_x - \delta_y - \delta_z). \quad (9)$$

При малых деформациях ($\delta_i = 0.10...0.15$), учитывая, что $\delta_x = \varepsilon_x$, $\delta_y = \varepsilon_y$, $\delta_z = \varepsilon_z$ [3], уравнение (9) можно представить в виде

$$\theta = 1 - (1 - \theta_0)\exp(-\varepsilon_x - \varepsilon_y - \varepsilon_z). \quad (10)$$

Рассмотрим вопрос учета дополнительной пористости θ_1, возникшей вследствие трещин в материале. В [4] величина θ_1 была принята в функциональной зависимости от пористости материала и степени его пластического деформирования в виде $\theta_т = \theta f(\varepsilon_{экв})$, где $\varepsilon_{экв}$ — эквивалентная деформация. В частности, функция $f(\varepsilon_{экв})$ была представлена в линейной зависимости от $\varepsilon_{экв}$: $f(\varepsilon_{экв}) = k\varepsilon_{экв}$, где k — экспериментально определяемый коэффициент пропорциональности. Однако, несмотря на упрощенный вид функции $f(\varepsilon_{экв})$, определение дополнительной пористости материала θ_1 по методике [4] связано со значительными трудностями. Кроме того, этот вопрос в [4] анализирован недостаточно полно. С целью подробного анализа и упрощения методики определения дополнительной пористости примем, что она прямо пропорциональна начальной пористости материала и характеризующей деформации технологического процесса ε:

$$\theta_T = k\theta_0\varepsilon. \tag{11}$$

Общая пористость материала с учетом (10) и (11) определяется по формуле

$$\theta = 1-(1-\theta_0)\exp(-\varepsilon_x-\varepsilon_y-\varepsilon_z)+k\theta_0\varepsilon. \tag{12}$$

Формулы (7) и (11) позволяют представить общее приращение пористости в виде

$$d\theta = (1-\theta)(d\varepsilon_x+d\varepsilon_y+d\varepsilon_z)+k\theta_0 d\varepsilon. \tag{13}$$

Отметим, что зависимости для пористости (12) и приращения пористости (13) позволяют без изменения использовать остальные формулы соответствующих теорий пластичности пористых материалов [5]. В частности, зависимости деформационной теории пластичности пористых материалов имеют следующий вид [5]:

$$\sigma_{экв} = \frac{1}{\beta^{n+0.5}}\left(\frac{1}{2}\left((\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2\right)+\alpha_0^m(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)^2\right)^{1/2}, \tag{14}$$

$$\sigma_{экв} = \beta^{2n-0.5}\left(\frac{2}{9}\left((\varepsilon_1-\varepsilon_2)^2+(\varepsilon_2-\varepsilon_3)^2+(\varepsilon_3-\varepsilon_1)^2\right)+\frac{(\varepsilon_1+\varepsilon_2+\varepsilon_3)^2}{9\alpha_0^m}\right)^{1/2}. \tag{15}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_{экв}}{2\beta^{3n}\sigma_{экв}}\left(2\sigma_1-\sigma_2-\sigma_3+2\alpha_0^m(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)\right),$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_{экв}}{2\beta^{3n}\sigma_{экв}}\left(2\sigma_2-\sigma_1-\sigma_3+2\alpha_0^m(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)\right), \tag{16}$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\varepsilon_{экв}}{2\beta^{3n}\sigma_{экв}}\left(2\varepsilon_3-\sigma_1-\sigma_2+2\alpha_0^m(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)\right).$$

$$\alpha = 0.15\theta^{0.6},\ \beta = 1-1.8\theta^{0.9}. \tag{17}$$

где $\sigma_{экв}$, $\varepsilon_{экв}$ — соответственно эквивалентные напряжение и деформация; σ_1, σ_2, σ_3 — главные напряжения; ε_1, ε_2, ε_3 — главные деформации; α, β — функции пористости (α_0 соответствует начальной пористости материала θ_0); m, n — параметры пористости.

Подставив в (12) значения деформаций ε_1, ε_2, ε_3 из (16), получим

$$\theta = 1-(1-\theta_0)\exp\left(-\frac{9\sigma_0\varepsilon_{экв}\alpha_0^m}{\beta^{3n}\sigma_{экв}}\right)+k\theta_0\varepsilon, \tag{18}$$

где $\sigma_0 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ — среднее напряжение.

В зависимостях теории течения формула (14) не меняется, однако вместо функции α_0 используется α. Остальные формулы сводятся к виду

$$\overline{d\varepsilon}_{экв} = \beta^{2n-0.5}\left(\frac{2}{9}\left((d\varepsilon_1 - d\varepsilon_2)^2 + (d\varepsilon_2 - d\varepsilon_3)^2 + (d\varepsilon_3 - d\varepsilon_1)^2\right) + \frac{(d\varepsilon_1 + d\varepsilon_2 + d\varepsilon_3)^2}{9\alpha^m}\right)^{1/2}, \tag{19}$$

$$d\varepsilon_1 = \frac{\overline{d\varepsilon}_{экв}}{2\beta^{3n}\sigma_{экв}}\left(2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3 + 2\alpha^m(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)\right),$$

$$d\varepsilon_2 = \frac{\overline{d\varepsilon}_{экв}}{2\beta^{3n}\sigma_{экв}}\left(2\sigma_2 - \sigma_3 - \sigma_1 + 2\alpha^m(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)\right), \tag{20}$$

$$d\varepsilon_3 = \frac{\overline{d\varepsilon}_{экв}}{2\beta^{3n}\sigma_{экв}}\left(2\sigma_3 - \sigma_1 - \sigma_2 + 2\alpha^m(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)\right),$$

где $\overline{d\varepsilon}_{экв}$ — эквивалентное приращение деформаций, $d\varepsilon_1$, $d\varepsilon_2$, $d\varepsilon_3$ — приращения главных деформаций.

Подставив в (13) значения приращения деформаций $d\varepsilon_1$, $d\varepsilon_2$, $d\varepsilon_3$ из (20), получим

$$d\theta = \frac{9\sigma_0 \overline{d\varepsilon}_{экв}\alpha^m(1-\theta)}{\beta^{3n}\sigma_{экв}} + k\theta_0 d\varepsilon. \tag{21}$$

Пористость материала и интеграл от эквивалентного приращения пластических деформаций после каждой текущей степени деформирования определяются по формулам

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \Delta\theta_i, \tag{22}$$

$$\int \overline{d\varepsilon}_{экв} = \sum_{i=1}^{c} \overline{\Delta\varepsilon}_{экв\,i}, \tag{23}$$

где c — число предыдущих степеней деформирования.

Таким образом, предложен метод учета влияния трещин в процессах пластического деформирования и разрушения пористых материалов. Использованы основные законы механики деформированного твердого тела. Допущения относительно дополнительной пористости материала позволяют упростить расчеты.

На основании зависимостей деформационной теории пластичности (14)-(18) и теории течения (19)-(21) пористых материалов в дальнейшем можно определить параметры пористости и трещин, а также решить широкий класс технологических задач.

(Работа выполнена в рамках финансируемой госбюджетной научной темы РА № 94-170

ЛИТЕРАТУРА

1. **Микляев П.Г., Нешпор Г.С., Кудряшов В.Г.** Кинетика разрушения. - М.: Металлургия, 1979. - 278 с.
2. **Давид Броек.** Основы механики разрушения. - М.: Высшая школа,1980. - 368 с.
3. **Малинин Н.Н.** Прикладная теория пластичности и ползучести. - М.: Машиностроение, 1975. -399 с.
4. **Петросян Г.Л.** Исследование вопросов влияния трещин на процессы пластического деформирования и разрушения спеченных материалов // Прогрессивные технологические процессы в машиностроении: Тез. докл. / Академия наук УССР, Институт проблем материаловедения. - г. Луцк, 1989. - С. 47-48.
5. **Петросян Г.Л.** Пластическое деформирование порошковых материалов. - М.: Металлургия, 1988. - 153 с.

ГИУА 17.03.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L, № 3, 1997, с. 171-174

УДК 69.002.54.83 **МАШИНОСТРОЕНИЕ**

А.С. САРКИСЯН

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ РУЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Ներկայացվում է ձեռքի հարվածային էլեկտրական մեքենաների երկրաչափական և կառուցվածքային պարամետրերի լավարկման նոր չափանիշ, որը ներառում է մինչև այժմ հայտնի երկու չափանիշները:

Предлагается новый критерий для оптимизации геометрических и конструктивных параметров ручных электрических машин ударного действия, совмещающий два других критерия.

Ил. 1. Библиогр.: 2 назв.

A new criterion for geometrical and design parameter optimization is proposed for a manual electric machine with a percussion combining the other two criteria known at present.

Ill. 1. Ref. 2.

В настоящее время известны два критерия для оптимизации геометрических и конструктивных параметров ручных электрических машин с компрессионно-вакуумным (КВ) ударным механизмом: минимум силы, действующей на корпус машины по ее продольной оси [1,2], и максимум энергетического использования машины. Исследования показали, что эти два критерия можно совмещать в одном, более универсальном критерии.

Нагрузочная диаграмма ручной машины с КВ ударным механизмом имеет явно выраженный пиковый характер (рис.), где M_c-момент сопротивления на валу кривошипа, φ-угол поворота его вала. Снижение пиковости нагрузочной диаграммы, т.е. ее