УДК 532.6

В.О.Лаптєв, І.В.Огірко

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ РІДИНИ НА ОСНОВІ ПОЛІМЕРІВ НА ПРОЦЕС МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН

Як відомо, змащувально-охолоджувальні рідини сприяють підвищенню міцності деталей при їх механічній обробці. Макромолекули або частинки полімеру, що входять до складу рідини, подаються в зону різання і на нагрітих поверхнях тіл деструктують під дією високої температури з утворенням концентрованих парамагнітних центрів і вільних макрорадикалів. Завдяки утворенню полімерної плівки на оброблених поверхнях знижується коефіцієнт тертя і зношення.

У даній роботі пропонується математична модель взаємодії змащувально-охолоджувальної рідини на основі полімерів з пружними тілами при механічній обробці. Будемо виходити з робіт [1-4, 6-10], в яких побудовані термодинамічні основи поверхневих явищ в твердих тілах, а також описані поверхневі явища в пружних тілах при їх деформуванні.

Розглянемо спочатку багатофазне середовище з N компонент, термодинамічні властивості яких задаються функціями

$$E_i,\ P_i\quad E_i = E_i(T_i, \rho_i^o),\ P_i = P_i(T_i, \rho_i^o),\ i = 1, .., N;$$

де E_i – внутрішня енергія на одиницю маси; P_i – тиск, T – температура, ρ_i^o – густина i-ї компоненти. Область, яку займає i-та компонента, позначимо Ω_i.

Замість багатофазного середовища розглянемо гетерогенну багатофазну суміш, яка має ті ж N компонент, і припустимо, що тиск у фазах однаковий і є рівновага по швидкостях фаз, тобто

$$P = P_1 = P_2 = \ldots = P_N,$$
$$\vec{V} = \vec{V}_1 = \vec{V}_2 = \ldots = \vec{V}_N.$$

Тоді рух багатофазної суміші можна описати системою рівнянь [6]

$$\begin{gathered} \frac{\partial \rho}{\partial t} + div\, \rho \vec{V} = 0, \\ \rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = -\, grad\, P, \\ \rho \frac{\partial E}{\partial t} + P\ div\, \vec{V} = 0, \\ \frac{\partial \beta}{\partial t} = \frac{\partial \beta_i}{\partial t} + (\vec{V}, grad\, \beta_i) = 0, \qquad i = 1, \ldots, N, \end{gathered} \tag{1}$$

де $E = \beta_1 E_1 + \ldots + \beta_N E_N = E(P, \rho_1^o, \ldots, \rho_N^o, \beta_1, \ldots, \beta_N)$. (2)

Її можна розглядати як систему рівнянь руху однофазного середовища з багатопараметричним рівнянням стану (2).

Для розрахунку руху такого середовища слід задати в початковий момент тиск P, швидкість $\vec{V}$, густину ρ і параметр β, рівний 0 або 1.

Для макроскопічного опису взаємодії досліджуваної рідини з поверхнями твердих тіл в процесі обробки скористуємось гіпотезою локального рівноважного стану [1]. При цьому стан тіла визначається такими локальними параметрами стану: температура T – ентропія S одиниці маси тіла, тензорами напружень $\{\sigma_{ij}\}$ – деформацій $\{l_{ij}\}$, хімічним потенціалом $M_k{}'$ – концентрацією $C_k = \rho_k/\rho$ компоненти k_i. Тут ρ_k – маса компоненти k_i в одиниці об'єму; ρ – густина тіла.

Приймемо такі рівняння стану [1]:

$$S = -\frac{\partial F}{\partial T}, \quad \hat{\sigma} = \rho\frac{\partial F}{\partial \hat{l}}, \quad M_k = \frac{\partial F}{\partial C_k}, \quad \omega = -\frac{\partial F}{\partial \Phi}, \tag{3}$$

де $F = F(T, \hat{l}, C_k, \Phi)$ – термодинамічний потенціал; $\hat{\sigma}$ – тензор напружень; $\hat{l}$ – тензор деформацій; Φ – термодинамічний електричний потенціал.

Наприклад, напруження в (3) визначаються формулою [1]

$$\sigma_{ij} = \left[\left(K - \frac{2G}{3}\right) l - K\left(\alpha t + \beta\varphi + \sum_{k=1}^{n-2}\beta_k C_k\right)\right]\sigma_{ij} + 2G l_{ij}, \tag{4}$$

де $t = T - T_0$; $C_k = C_k - C_k^0$; $\varphi = \Phi - \Phi_0$, а S_0 – ентропія; T_0 – температура; C_k^0 – концентрація; K, α, G – відомі теплофізичні характеристики тіла.

Систему співвідношень нашої моделі утворюють рівняння стану (3), рівняння руху [1]

$$\rho\frac{\partial \vec{V}}{\partial \tau} = \nabla\cdot\hat{\sigma} + \rho\omega\vec{E} + \mu_0(\vec{j} + \rho\omega\vec{V})\times\vec{H} + \rho\vec{F}, \tag{5}$$

рівняння ентропії [1]

$$\rho\frac{\partial S}{\partial \tau} = -\nabla\cdot\vec{I}_s + [-\vec{I}_Q\cdot\nabla T/T + \sum_{k=1}^{n-2}\vec{I}_k\cdot(\vec{F}_k - \nabla M_k) +$$

$$+\vec{j}(\vec{E} + \mu_0\vec{V}\times\vec{H} - \nabla\Phi + \frac{\vec{F}^*_{n-1}}{Z_{n-1}}]/T,$$

співвідношення балансу маси компоненти k_i

$$\rho\frac{\partial C_k}{\partial \tau} = -\nabla\vec{I}_k,$$

а також рівняння суцільності, кінетичні співвідношення, рівняння Максвелла.

Тут $\vec{I}_k$ – дифузійний потік компоненти k_i; $\vec{I}_Q$ – потік тепла; $\vec{I}_s = \vec{I}_Q/T$ – потік ентропії; $\vec{V}$ – швидкість центру мас елемента тіла; μ_0 – магнітна постійна; $\vec{E}$, $\vec{H}$ – напруженості електричного і магнітного поля; $\rho\vec{F}$ – зовнішня консервативна об'ємна сила; $\vec{F}_k$, $\vec{F}_k^*$ – визначаються зовнішніми об'ємними консервативними силами.

Для аналізу дифузійного процесу, викликаного змащувально-охолоджуваною рідиною, розглянемо ще одну модель [6] дифузійного і пружнов'язкого запливання мікродефекту в твердому тілі. Відповідна модель має вигляд [6]

$$G^*\Delta\vec{U} + \left(K_c^* - \frac{G^*}{3}\right) grad\,div\,\vec{U} - K_c\,\beta_c\,grad\,c = 0\,, \qquad (8)$$

$$D^*\Delta C + D^*\Delta\,div\,\vec{U} = pc\,,$$

$$\sigma_{ij} = 2G^* l_{ij} + \left(K_c^* - \frac{2G^*}{3}\right) div\,\vec{U}\,\delta_{ij} - K_c\,\beta_c\,c\,\delta_{ij}\,, \qquad (10)$$

$$\mu = d^* c - \rho^{-1} K^* \beta_c\,div\,\vec{U}\,,$$

де $\vec{U}$ – вектор переміщень; l_{ij} – компоненти сумарних пружних і в'язких деформацій; σ_{ij} – відповідні сумарні напруження; $c = \xi - \xi_o$ – відхилення концентрації ξ від рівноважної ξ_o; $\mu - \varphi - \varphi_o$ – відхилення різниці хімічних потенціалів вакансій і атомів; ρ – густина; G, K – модуль зсуву і модуль об'ємної пружності; β_c – коефіцієнт об'ємного концентративного розширення; $d_c = k\,\frac{T}{T_o}$; D_l – коефіцієнт дифузії.

Причому

$$D_l = -\frac{D_c K_c\,\beta_c}{d_c\,\rho}\,, \qquad \gamma_c = -\frac{D_l\,\beta_c}{D_c}$$

де k – постійна Больцмана; T – абсолютна температура; p – оператор диференціювання по часу.

Розглянемо для прикладу дефект у вигляді сфери радіуса R. Запишемо граничні умови при $r = R$

$$\sigma_{rr} = 2\gamma/R\,, \qquad \mu = 2\,\Omega\,\gamma/R\,,$$

а при $r = \infty$

$$\delta_{rr} = 0\,, \qquad \mu = 0\,.$$

Початкові умови сформулюємо, як в [6], при $t - 0$

$$c - 0\,, \qquad R = R_o\,.$$

Тут γ – поверхнева енергія; Ω – атомний об'єм. Розв'язки відповідних задач можуть бути здійснені на ЕОМ чисельним методом, наприклад [5]. Це дозволить аналізувати вплив змащувально-охолоджувальної рідини на основі полімерів на напружено-деформований стан та на якість механічної обробки деталей машин.

1. Бурак Я. И., Галапац Б. П. Термодинамические основы и исследование поверхностных явлений в электропроводных телах // Физико-химическая механика материалов. 1981. № 5. С. 59-66. 2. Бурак Я. И., Чапля Е. Я. Деформация электроприводных тел с учетом гетеродиффузии заряженных примесных частей // Физ.-хим. механика материалов. 1980. № 5. С. 8-14. 3. Глауберман А. Е. Теория поверхностного натяжения металлов // Журн. физ. химии. 1949. Т. 23. № 2. С. 115-123. 4. Меньшов И. С. Использование единого уравнения состояния для описания течения неоднородных сред: Препринт № 116. ИПМ АН СССР. М., 1984. 5. Огирко И. В. Метод конечных разностей повышенной точности для решения многомерных нелинейных задач // Численные методы решения задач математической физики. М., 1983. С. 26-27. 6. Повстенко Ю. З. Диффузионное заплывание сферической поры в вязко-упругом твердом теле // Физико-химическая механика материалов. 1980. № 3. С. 83-85. 7. Подстригач Я. С., Шевчук П. Р. О

влиянии поверхностных слоев на процесс диффузии и на обусловленное им напряженное состояние в твердых телах //Физ.-хим. механика материалов. 1967. № 5. С. 575-583. 8. Семенченко В. К. Поверхностные явления в металлах и сплавах. М., 1957. 9. Ребиндер П. А., Щукин Е. Д. Поверхностные явления в твердых телах в процессе их деформации и разрушения // Успехи физ. наук. 1972. Т. 108. № 1. С. 3-42. 10. Русанов А. И. Фазовые равновесия и поверхностные явления. Л., 1967.

Стаття надійшла до редколегії 12.02.92.