

Рисунок 3 – Кривые растяжения образцов кабеля КНМСС после волочения: 1 - в обычных условиях; 2 - с УЗК ($A=18$ мкм); 3 - с УЗК ($A=10$ мкм).

Последующая термообработка в проходной печи приводит к формированию полностью аустенитной структуры независимо от условий предыдущей деформации [3].

Таким образом, из анализа результатов рентгеноструктурных и микроструктурных исследований можно сделать вывод, что использование ультразвуковых колебаний при обработке композиционных изделий из стали 12X18H10T, позволяет уменьшить ее фазовый наклеп за счёт торможения $\gamma \rightarrow \alpha'$ превращения.

Список литературы

1. Максимкин О.П., Цай К.В. Магнитометрическое исследование особенностей мартенситного превращения $\gamma \rightarrow \alpha'$ в облученной нейтронами стали 12X18H10T// Металлы.- 2008.- №5. - С.39-47.
2. Апаев Б.А. Магнитный фазовый анализ. – М.: Металлургия, 1973. - 280с.
3. Клубович В.В., Рубаник В.В., Царенко Ю.В. Ультразвук в технологии производства композиционных кабелей. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 293 с.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ОБЪЕМНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Журавков М.А., Щербаков С.С.

Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

Представлены основные модели и методы анализа механических состояний трибофатических систем. Рассмотрены разрешающие уравнения для системы и взаимодействующих тел, результаты исследования пространственного напряженно-деформированного состояния, объемной поврежденности и многокритериальных предельных состояний деформируемых систем при одновременном действии контактных и неконтактных нагрузок.

Введение

Одной из важных задач современной механики деформируемого твердого тела и механики контактного взаимодействия является построение моделей механических состояний систем, в которых одновременно реализуется контактное взаимодействие с трением (качения, скольжения) между твердыми деформируемыми телами и неконтактное (объемное, в том числе циклическое) деформирование, по крайней мере, одного из элементов системы [1-3]. Данные системы получили название трибофатических (силовых).

Характерными примерами подобных систем являются системы ролик/вал,

ролик/кольцо, труба/поток вязкой жидкости. Эти системы представляют собой модели таких практически важных систем как зубчатые зацепления, колесо/рельс, участок магистрального трубопровода и мн. др.

При механико-математическом моделировании данных систем следует учитывать изменение контактных граничных условий в результате действия неконтактных нагрузок. Особую сложность представляют задачи моделирования взаимодействия во многоэлементных системах.

Система разрешающих уравнений для многоэлементной системы. Рассмотрим задачу определения механических состояний системы n деформируемых тел, обладающих различными свойствами [1]. Данная постановка включает в себя как уравнения движения тел, так и граничные условия для каждого из тел, определяемые, в том числе, характером их контактного взаимодействия.

Помимо независимых от состояния n деформируемых тел граничных условий в перемещениях и напряжениях взаимодействие тел описывается с помощью контактных граничных условий, определяемых следующими соотношениями:

$$\bar{\mathbf{u}}_l|_{S_u^{(lm)}} - \bar{\mathbf{u}}_m|_{S_u^{(lm)}} = \delta_{lm}^{(u)}|_{S_u^{(lm)}}, \quad \bar{\mathbf{p}}_l|_{S_\sigma^{(lm)}} - \bar{\mathbf{p}}_m|_{S_\sigma^{(lm)}} = \delta_{lm}^{(\sigma)}|_{S_\sigma^{(lm)}}, \quad (1)$$

где $\delta_{lm}^{(u)}$ и $\delta_{lm}^{(\sigma)}$ – некоторые функции перемещений и напряжений, $S_\sigma^{(lm)}$ и $S_u^{(lm)}$ – контактные поверхности, $\bar{\mathbf{p}}_k = \{\bar{p}_1^k, \bar{p}_2^k, \bar{p}_3^k\} = \{p_n^k, p_\tau^k\}$ и $\bar{\mathbf{u}}_k = \{\bar{u}_1^k, \bar{u}_2^k, \bar{u}_3^k\}$ – векторы усилий и перемещений на поверхности k -го тела, p_n^k и p_τ^k – нормальная и касательная компоненты вектора усилий, $\bar{\mathbf{L}}_\sigma = \{L_{11}, L_{12}, L_{13}\}$ – вектор, компонентами которого являются интегральные операторы, определяющие поверхностные усилия. Вупругой постановке данные операторы имеют следующий вид:

$$L_{ij}(\mathbf{u}) = \mu(u_{i,j} + u_{j,i}) + \lambda u_{q,q} \delta_{ij},$$

где δ_{ij} – дельта Кронекера, μ и λ – постоянные Ламе.

С учетом контактного взаимодействия между l -м и m -м телами, описываемого соотношениями (1), система разрешающих интегральных уравнений для поверхностей двух тел примет вид:

$$\begin{Bmatrix} \bar{\mathbf{p}}_l^{(S)} \\ \bar{\mathbf{u}}_l^{(S)} \\ \delta_{lm}^{(\sigma)} \\ \delta_{lm}^{(u)} \\ \bar{\mathbf{p}}_m^{(S)} \\ \bar{\mathbf{u}}_m^{(S)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\mathbf{L}}_\sigma(\mathbf{L}_u^{(S)}) & 0 \\ \bar{\mathbf{L}}_u^{(S)} & 0 \\ \bar{\mathbf{L}}_\sigma(\mathbf{L}_u^{(S)}) & -\bar{\mathbf{L}}_\sigma(\mathbf{L}_u^{(S)}) \\ \bar{\mathbf{L}}_u^{(S)} & -\bar{\mathbf{L}}_u^{(S)} \\ 0 & \bar{\mathbf{L}}_\sigma(\mathbf{L}_u^{(S)}) \\ 0 & \bar{\mathbf{L}}_u^{(S)} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \bar{\mathbf{p}}_l \\ \bar{\mathbf{p}}_m \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{\mathbf{L}}_\sigma(\mathbf{L}_u^{(V)}) & 0 \\ \bar{\mathbf{L}}_u^{(V)} & 0 \\ \bar{\mathbf{L}}_\sigma(\mathbf{L}_u^{(V)}) & -\bar{\mathbf{L}}_\sigma(\mathbf{L}_u^{(V)}) \\ \bar{\mathbf{L}}_u^{(V)} & -\bar{\mathbf{L}}_u^{(V)} \\ 0 & \bar{\mathbf{L}}_\sigma(\mathbf{L}_u^{(V)}) \\ 0 & \bar{\mathbf{L}}_u^{(V)} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \mathbf{q}_l \\ \mathbf{q}_m \end{Bmatrix}, \quad (2)$$

где \mathbf{q} – вектор объемных сил внутри k -го тела, $\mathbf{L}_u^{(S)} = \{L_1^{(S,u)}, L_2^{(S,u)}, L_3^{(S,u)}\}$ и $\mathbf{L}_u^{(V)} = \{L_1^{(V,u)}, L_2^{(V,u)}, L_3^{(V,u)}\}$ – векторы, компонентами которых являются интегральные операторы для действия поверхностных и объемных сил:

$$L_i^{(S,j)}(p_\varphi) = \int_{S(\xi)} p_\varphi(\xi) G_i^{(\varphi,j)}(\xi, \mathbf{x}) dS(\xi), \quad L_i^{(V,j)}(p_\varphi) = \int_{V(\xi)} p_\varphi(\xi) G_i^{(\varphi,j)}(\xi, \mathbf{x}) dV(\xi),$$

где $j = u, \sigma$; $\varphi = n, \tau$.

Аналогичным образом формулируется задача для n взаимодействующих деформируемых тел.

Предложенная система разрешающих интегральных уравнений, которая позволяет определить нормальные и касательные усилия на поверхности каждого из тел, а также напряженно-деформированное состояние его внутренней области.

Состояние поврежденности. В рамках трибофатики развивается комплексный подход к определению предельного состояния систем. Так, состояние системы в некоторой точке может оцениваться как предельное при достижении (в том числе одновременном) некоторыми механическими параметрами своих предельных значений.

Опасные объемы представляет собой трехмерные области твердого тела, в которых напряжения достигают повреждающего уровня [2-4]. По сути, опасные объемы являются нелокальной характеристикой распределения физико-механических свойств, определяемого структурой материала.

На рис. 1 представлены опасные объемы V_{int} и Ψ_{int} для разных нагрузок. Из данного рисунка видно, что по сравнению с контактным взаимодействием без трения действие касательных усилий увеличивает опасный объем V_{int} примерно на 3 %, а поврежденность Ψ_{int} примерно 5 %. Если вал дополнительно изгибается неконтактной нагрузкой, то в зоне растяжения V_{int} еще увеличивается примерно на 20 %, а поврежденность Ψ_{int} примерно 22 %, а в зоне сжатия на 8 %, и 3 % соответственно.

Предельное состояние. Обобщенный критерий предельного состояния трибофатической системы формулируется на основе ее объединенного напряженного состояния следующим образом:

$$U_{\Sigma}^{eff}(\sigma^{(V,W)}, \varepsilon^{(V,W)}, T_{\Sigma}, Ch, \Lambda(V), m_k) = U_0. \quad (3)$$

где, принимается, что величина эффективной энергии U_{Σ}^{eff} определяется тензорами напряжений σ и деформаций ε , а также температурой от всех источников тепла T_{Σ} , а U_0 следует трактовать как начальную энергию активации процесса разрушения.

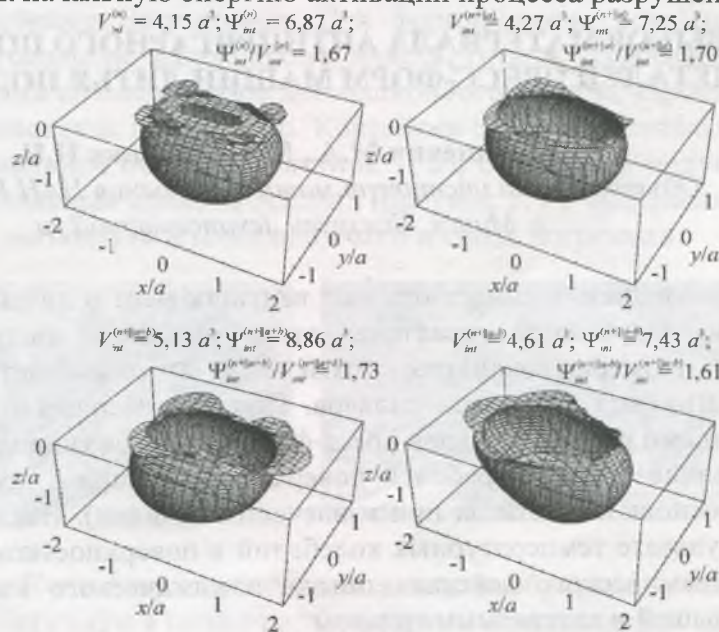


Рисунок 1 – Опасные объемы $V_{int}^{(n)}$, $V_{int}^{(n+\tau+b)}$ при $\sigma_{int}^{*lim} = 0,186 p_0$.

Заключение

Методология комплексного изучения механических состояний трибофатической системы и ее элементов, включает последовательную постановку и решение задач об их пространственном напряженно-деформированном состоянии, состояниях объемной поврежденности и многокритериальных предельных состояниях.

Построенная система разрешающих операторных уравнений для системы n взаимодействующих твердых тел, с учетом контактного взаимодействия между ними, а

также неконтактных смешанных граничных условий позволяет провести оценку сложного пространственного напряженно-деформированного состояния.

Оценка объемной поврежденности трибофатических систем основывается на модели деформируемого твердого тела с опасным объемом, который определяется областью конечных размеров с критическим уровнем напряжений.

Анализ предельного состояния трибофатических систем в конечной области с критическим уровнем напряжений в ней, позволяющий давать прогноз отказа элементов системы проводится по разным критериям достижения предельного состояния (объемное разрушение – разделение на части; критическое поверхностное разрушение – предельный износ и др.)

Список литературы

1. Журавков, М.А. Некоторые подходы к моделированию контактного взаимодействия движущихся деформируемых тел / М.А. Журавков, С.С. Щербаков // Докл. НАН Беларуси. –2012. -Т. 56, № 1. –С.113-123.
2. Сосновский, Л.А. Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики: курс лекций / Л.А. Сосновский, М.А. Журавков, С.С. Щербаков. – Минск: БГУ, 2011. – 488 с.
3. Щербаков, С.С. Механика трибофатических систем / С.С. Щербаков, Л.А. Сосновский. – Минск: БГУ, 2011. – 407 с.
4. Журавков, М.А. Объемная мера поврежденности твердых тел при их контактном взаимодействии и некоторые ее приложения/ М.А. Журавков, С.С. Щербаков // Механика машин, механизмов и материалов. –2011. –№ 4. –С 91–96.

ВЫБОР МАТЕРИАЛА АНТИПРИГАРНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПРЕСС-ФОРМ МАШИН ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Леванцевич М.А., Максимченко Н.Н.

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь, levancev@mail.ru*

Литье под давлением занимает одно из ведущих мест в литейном производстве. В отечественной и зарубежной практике этим способом получают отливки, по конфигурации и размерам наиболее близкие к готовым деталям из цинковых, алюминиевых, магниевых и медных сплавов. При литье сплавов на основе алюминия основными причинами выхода из строя пресс-форм являются гидродинамический износ и пригар (приваривание сплава к рабочей поверхности формы с последующим отрывом вместе с частью основного металла при извлечении отливки). Изнашивание пресс-форм происходит в результате температурных колебаний в поверхностном слое оформляющей полости, гидродинамического действия потока и химического взаимодействия между материалом вкладышей и заливаемым сплавом.

Формообразующие детали пресс-форм являются наиболее ответственными деталями, так как они соприкасаются с жидким сплавом, в той или иной степени участвуют в оформлении поверхностей отливок и наиболее сильно подвергаются термическому воздействию и механическим нагрузкам. Эти детали изготовляют из жаростойких сталей, обладающих высокими механическими свойствами. Для повышения износостойкости и уменьшения химического взаимодействия с заливаемым сплавом формообразующие детали подвергают термообработке, а их рабочие поверхности – цианированию, азотированию, фосфатированию и другим методам упрочнения, а также используют защитные покрытия и смазки [1]. Несмотря на достигнутые положительные результаты, подобные мероприятия в большинстве случаев исчерпали ресурс своих