

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ



УДК 539.4

Ю.Б.Какулия, А.М.Шарыгин

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ МАТЕРИАЛОВ СО СЛОЖНЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Филиал Российского государственного социального университета, Анапа

The numerical method of the axisymmetric problem solution of deformable body mechanics applied to the materials with complex functional properties is developed. The results of the deflected mode modelling in the thick-walled cylinder made from the material with shape memory effect are adduced.

Важнейшей проблемой, с которой приходится сталкиваться при проектировании современных конструкций, является проблема прогнозирования напряженно-деформированного состояния (НДС) в элементах из материалов со сложными функциональными свойствами. Один из путей ее решения связан с разработкой расчетных методов на основе численных методов механики сплошных сред. Методика расчета НДС, основанная на применении одного из них — метода конечных элементов — с использованием структурно-аналитической теории прочности [1], описана в работе [2]. Там же приведены некоторые результаты расчетов для двухмерных задач. Применение предложенного метода позволяет исследовать особенности распределения напряжений и перемещений в элементах конструкций и наблюдать их эволюцию в процессе силовых и температурных воздействий.

Внесение необходимых дополнений в алгоритм расчетов позволило расширить область применения метода за счет еще одного класса задач — осесимметричных задач механики деформируемых тел. Для иллюстрации работоспособности программы применительно к таким задачам выполнено численное моделирование НДС в толстостенном цилиндре длиной 80 мм с внешним и внутренним диаметром 160 мм и 80 мм соответственно. В расчетах приняты следующие значения для параметров модельного материала — модуля упругости E , температурного коэффициента линейного расширения α , коэффициентов поперечной деформации μ : $E_A = 7,42 \cdot 10^4$ МПа, $E_M = 6,8 \cdot 10^4$ МПа, $\mu_A = 0,33$, $\mu_M = 0,48$, $\alpha_A = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, $\alpha_M = 0,6 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ (индекс «А» соответствует аустенитному состоянию материала, а индекс «М» — мартенситному). Характеристические температуры фазовых превращений: $A_H = 410 \text{ K}$, $A_K = 460 \text{ K}$, $M_H = 340 \text{ K}$, $M_K = 290 \text{ K}$. Температура термодинамического равновесия $T_0 = 400 \text{ K}$. Тепловой эффект реакции 200 МДж/м^3 .

Цилиндр, закрепленный по внешнему диаметру в мартенситном состоянии, нагревали в полном интервале температур обратного превращения от 320 К до 520 К (схема I), а закрепленный по внутреннему диаметру в аустенитном состоянии — охлаждали в интервале температур прямого превращения от 450 К до 250 К (схема II). В обоих случаях расчеты проводили в двух вариантах: со свободными и закрепленными от осевых перемещений торцами цилиндра. Учитывали упругую, тепловую и фазовую (определяемую мартенситными превращениями) компоненты деформации. Скорость изменения температуры выбирали очень малой, что позволило пренебречь эффектами, обусловленными неравномерным распределением температуры по сечению цилиндра. Это избавляло от необходимости решать задачу теплопроводности.

Кривые, иллюстрирующие развитие радиальных и осевых (рис.1) и окружных (рис.2) составляющих реактивных напряжений, возникающих при воздействии по схеме I (рисунки

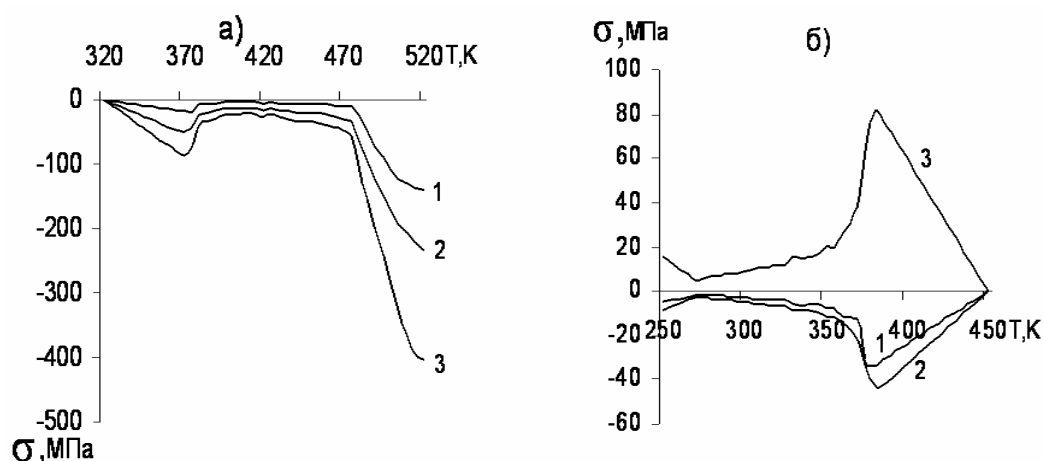


Рис.1. Зависимость радиального (1,2) и осевого (3) напряжений от температуры в случае свободных (1) и закрепленных (2,3) торцов цилиндра при воздействии по схеме I (а) и по схеме II (б)

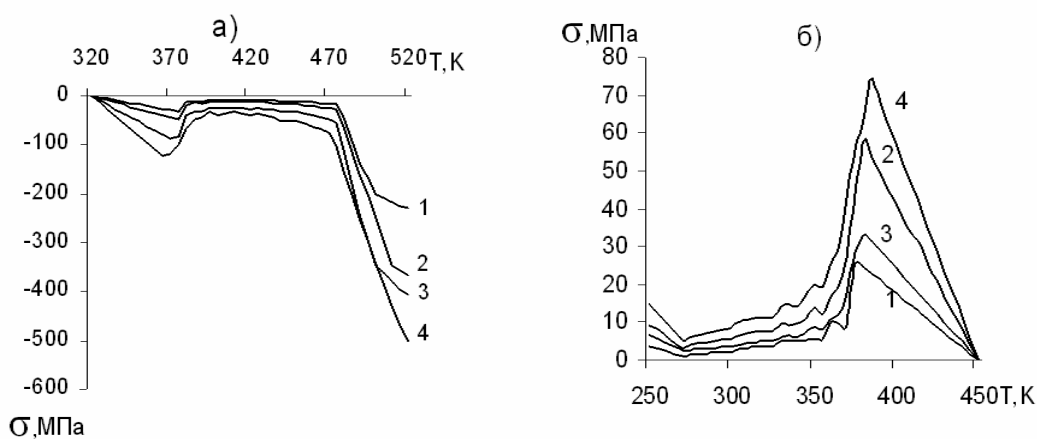


Рис.2. Зависимость окружных напряжений на внешней (1,3) и внутренней (2,4) поверхностях цилиндра от температуры в случае свободных (1,2) и закрепленных (3,4) торцов цилиндра при воздействии по схеме I (а) и по схеме II (б)

а) и схеме II (рисунки б) свидетельствуют о следующем. При реализации обеих схем все компоненты напряженного состояния качественно изменяются одинаково. Рост напряжений пропорционально изменению температуры прекращается с началом мартенситных превращений — имеет место релаксация напряжений, выражающаяся в многократном резком уменьшении их значений. В дальнейшем в продолжение всего процесса превращений уровень напряжений изменяется незначительно, при этом при воздействии по схеме I они незначительно возрастают, а по схеме II — уменьшаются. После завершения мартенситных превращений рост напряжений с изменением температуры возобновляется. Закрепление торцов цилиндра приводит к заметному увеличению как радиальных (следует из сравнения кривых 1 и 2 на рис.1а и рис.1б), так и окружных (следует из сравнения кривых 1 и 3, а также кривых 2 и 4 на рис.2а и рис.2б). Кроме того, при этом возникают значительные по величине осевые напряжения (кривые 3 на рис.1а и рис.1б).

Как видим на рис.3, при воздействии по схеме I перемещение внутренней поверхности цилиндра при свободных (кривая 1) и закрепленных (кривая 2) торцах и (кривая 3) в температурном интервале обратного превращения происходят с возрастающей скоростью. После завершения превращения их значения на некоторое время практически стабилизируются.

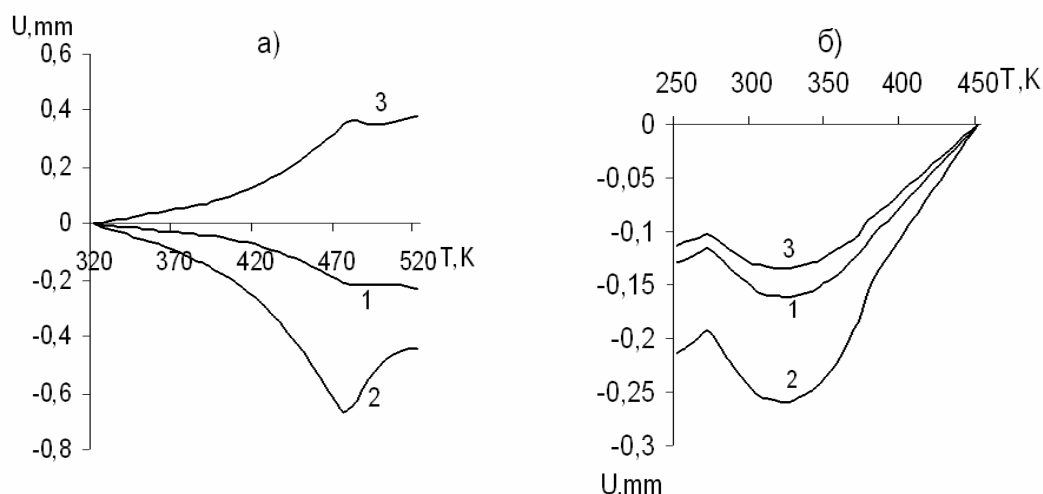


Рис.3. Зависимость перемещений свободных поверхностей (1,2) и удлинений (3) цилиндра от температуры в случае свободных (1,3) и закрепленных (2) торцов цилиндра при воздействии по схеме I (а) и по схеме II (б)

ются, а при закрепленных торцах даже имеют место перемещения в обратном направлении, что соответствует увеличению внутреннего диаметра цилиндра (кривая 2). При воздействии по схеме II (рис.3б) как изменение перемещения внешней поверхности цилиндра (1,2), так и изменение его длины (3) имеют реверсивный характер в интервале температур мартенситного превращения. Закрепление торцов приводит к значительному увеличению радиальных перемещений свободных поверхностей цилиндра (следует из сравнения кривых 1 и 2 на рис.3а и рис.3б).

Отметим, что результаты, полученные для случая цилиндра с незакрепленными торцами, совпадают с полученными ранее результатами решения соответствующей задачи в рамках плоского напряженного состояния [3]. Применяемый метод расчета позволяет с помощью структурно-аналитической теории прочности учитывать и другие виды деформации — пластичность, ползучесть, двойникование и т.д.

1. Лихачев В.А., Малинин В.Г. Структурно-аналитическая теория прочности. СПб.: Наука, 1993. 471 с.
2. Какулия Ю.Б., Шарыгин А.М. // Структура и свойства перспективных металлов и сплавов: Тр. XL Междунар. семинара «Актуальные проблемы прочности». В.Новгород, 2003. С.80-85.
3. Какулия Ю.Б. // Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естеств. и техн. науки. Т.8. Вып.4. Тамбов, 2003. С.706-707.