

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ

Какулия Ю. Б., Шарыгин А. М.

*Филиал Российского государственного Социального университета,
Анапа*

Сфера практического применения материалов с эффектом памяти формы постоянно расширяется. При этом проблема разработки надёжных методов расчёта напряженно-деформированных состояний (НДС) для таких материалов остается пока нерешённой. Среди конкретных прикладных задач, прогнозирования НДС для которых представляет большой практический интерес, особое место занимают задачи, связанные с проектированием и созданием термомеханических соединений (ТМС). Одна из первых попыток иллюстрации возможности моделирования напряжений, возникающих в ТМС, с применением методов структурно-аналитической теории прочности [1] принята в [2]. В работе приведены результаты решения краевой задачи о НДС в предположении, что материал испытывает упрягоизотропную деформацию и деформацию, обусловленную мартенситными превращениями первого рода. Нами разработан другой подход к решению задачи о НДС в материалах с памятью формы. Он основан на применении метода конечных элементов с использованием методологии структурно-аналитической теории. Практические возможности использования такого подхода для решения осесимметричной задачи механики показаны в [3]. В работе представлены результаты численного моделирования реактивных напряжений в толстостенном цилиндре из материала с мартенситными превращениями.

Целью данной работы было продолжение исследований НДС в цилиндрических телах из материала с памятью формы, а именно, проведение численного моделирования некоторых процессов, связанных с созданием ТМС. Предполагали, что цилиндр с внутренним радиусом $r_v = 110$ мм и наружным $r_n = 160$ мм наряду с деформацией, обусловленной мартенситными превращениями первого рода, испытывает также упругую и температурную деформации. В расчетах приняты следующие значения для параметров модельного материала: модуль упругости – E , температурный коэффициент линейного расширения α , коэффициент поперечной деформации – μ : $E_A = 7,42 \cdot 10^4$ МПа, $E_M = 6,8 \cdot 10^4$ МПа, $\alpha_A = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$, $\alpha_M = 0,6 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ (индекс «А» соответствует аустенитному состоянию материала, а индекс «М» – мартенситному), $\mu = 0,33$. Характеристические температуры фазовых превращений: $A_M = 410$ К, $A_K = 460$ К, $M_M = 340$ К, $M_K = 290$ К. Температура термодинамического равновесия $T_0 = 400$ К. Тепловой эффект реакции 200 МДж/м^3 . Скорость изменения температуры выбирали очень малой, что позволило пренебречь эффектами, обусловленными неравномерным распределением температуры по сечению цилиндра. Это избавляло от необходимости решать задачу теплопроводности.

Вычисления проводили по следующей схеме. На первом этапе в изотермических условиях при $T = 280 \text{ К} < M_K$ имитировали внедрение дорна, задавая в цилиндре внутреннее давление. На втором этапе проводилась разгрузка, что соответствовало извлечению дорна. В результате получали увеличение внутреннего диаметра по сравнению с исходным размером за счёт остаточной деформации. Далее на третьем этапе имитировали помещение в цилиндр стержня с бесконечной жёсткостью, после чего проводили

очень медленное нагревание до $T = 680 \text{ K} > A_c$. В заключение на четвертом этапе стержень также медленно охлаждали до $T = 280 \text{ K}$. Получаемые массивы данных позволяли постоянно отслеживать эволюцию полей напряжений и перемещений в процессе изменения нагрузки и температуры.

На рис. 1 представлены результаты расчетов, соответствующие третьему этапу воздействия на исследуемый объект – нагреванию продеформированного цилиндра с введенным в него абсолютно жестким стержнем. Рис. 1,а и рис. 1,б свидетельствуют о том, что при нагревании напряжения многократно увеличиваются. При этом характер распределения окружных напряжений по толщине стенки цилиндра меняется. Если при 410 К они практически постоянны (кривая 1 на рис. 1,б), то при 640 К окружные напряжения у наружной поверхности цилиндра заметно выше, чем в области контакта (кривая 8 на рис. 1,б). Из рис. 1,в следует, что изменение фазового состава продолжается при температурах, значительно превышающих A_c . У внутренней поверхности цилиндра, где уровень напряжений выше, чем у наружной, превращение не завершено даже при 640 К (кривая 8 на рис. 1,в).

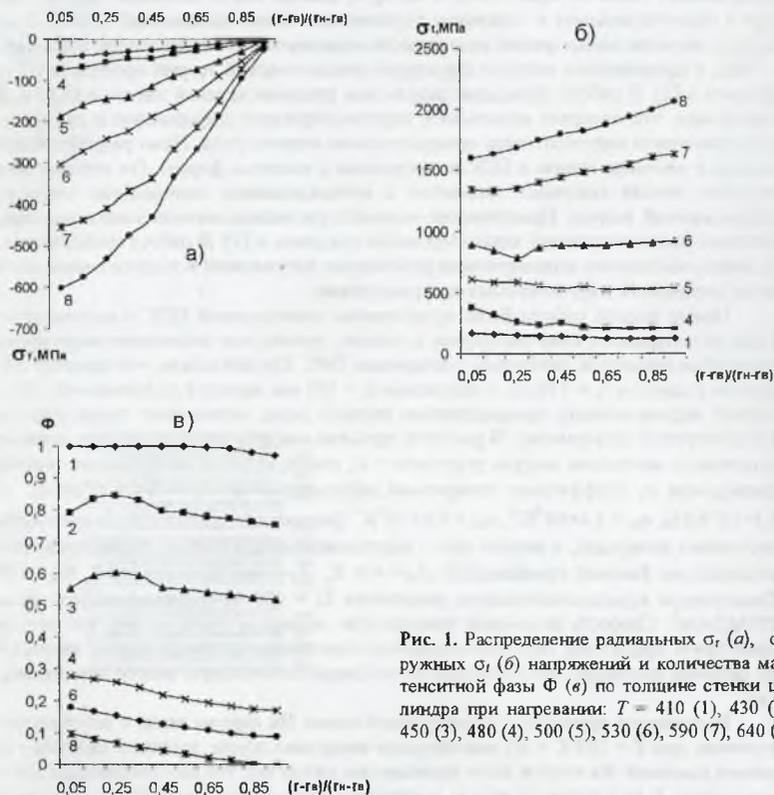


Рис. 1. Распределение радиальных σ_r (а), окружных σ_θ (б) напряжений и количества мартенситной фазы Φ (в) по толщине стенки цилиндра при нагревании: $T = 410$ (1), 430 (2), 450 (3), 480 (4), 500 (5), 530 (6), 590 (7), 640 (8)

Результаты расчётов, соответствующие этапу охлаждения, представлены на рис. 2. В процессе охлаждения имеет место релаксация напряжений за счет деформации прямого превращения, и при охлаждении до исходной температуры 280 К их уровень становится незначительным (кривые 9 на рис.2, а и рис.2, б).

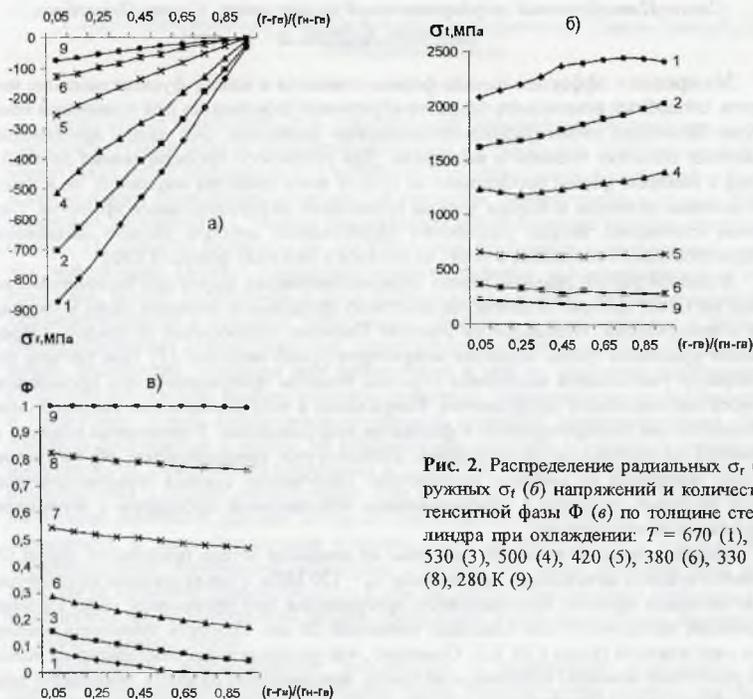


Рис. 2. Распределение радиальных σ_r (а), окружных σ_θ (б) напряжений и количества мартенситной фазы Φ (в) по толщине стенки цилиндра при охлаждении: $T = 670$ (1), 570 (2), 530 (3), 500 (4), 420 (5), 380 (6), 330 (7), 300 (8), 280 К (9)

В заключение отметим, что полученные расчетные данные не противоречат известным свойствам термомеханических соединений. Следует ожидать, что после учёта деформации, обусловленной дислокационной пластичностью, можно будет говорить о прогнозировании напряжений не только на качественном, но и на количественном уровне.

Список литературы

1. Лихачев В.А., Малинин В.Г. Структурно-аналитическая теория прочности. СПб.: Наука, 1993. 471с.
2. Волков А.Е., Лихачёв В.А., Слущер Ю.Ф. Расчет термомеханического соединения методами структурно-аналитической теории // Материалы XXVII Межреспубликанского семинара «Актуальные проблемы прочности». 15-20 сентября 1992г., г. Ухта. Ухта, 1992. С. 31-36.
3. Ю.Б. Какулия, А.М. Шарыгин. Численное решение осесимметричной задачи для материалов со сложными функциональными свойствами // Вестник НовГУ. Сер.: Технические науки. 2005. №34. С.5-7.