

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВО-СТРУКТУРНЫХ ПЕРЕХОДОВ В СПЛАВАХ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

Нуштаев Д. В., Жаворонок С. И.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва, Россия

В настоящее время изделия из сплавов с памятью формы (СПФ) из-за своих специфических свойств находят всё большее применение в промышленности. Наибольшее распространение они получили в медицинской отрасли, а, следовательно, от надёжности работы механизмов (пример – сердечно-сосудистый стент), выполненных из данных сплавов, во многом зависит здоровье, а в некоторых случаях, даже жизнь пациента.

Для обеспечения столь высокого класса надёжности необходимо создание методики расчёта поведения реальных конструкций в условиях максимально близких к эксплуатационным. Моделирование поведения СПФ сопряжено со значительными трудностями математического характера в силу весьма сложной структуры существенно нелинейных определяющих соотношений. Аналитического решения удастся достичь только в некоторых простейших случаях при описании процессов несвязной или, по крайней мере, односвязной моделью, тогда как известно, что большинство реально протекающих процессов деформирования адекватно описываются только на основе дважды связной постановки задачи. В этом случае, как правило, аналитическое решение даже простейших тестовых задач не представляется возможным. Исходя из этого, в качестве метода решения был выбран метод конечных элементов (МКЭ), используемый при решении широкого класса прикладных инженерных задач.

В рамках данной работы были проведены исследования возможностей конечно-элементного моделирования современных пакетов прикладных программ. Выяснилось, что вследствие сложности математического описания СПФ при фазово-структурных переходах в коммерческих конечно-элементных пакетах модели деформирования СПФ либо отсутствуют, либо описывают только некоторые явления.

Была освоена методика моделирования процессов деформирования СПФ в программном комплексе SIMULIA Abaqus с использованием встроенной подпрограммы UMAT и сделан вывод о том, что данная методика не охватывает большинства термомеханических явлений протекающих в СПФ и применима только при описании их сверхупругого поведения, что накладывает существенные ограничения на область решаемых задач.

Для расширения возможностей конечно-элементного моделирования поведения СПФ был предложен новый алгоритм решения данных задач, основанный на термомеханической модели Д. Лагудаса. Произведено компилирование данной модели, реализованной в программном коде FORTRAN, в основной код SIMULIA Abaqus с использованием компилятора Microsoft Visual Studio.

В результате была обеспечена возможность конечно-элементного моделирования односвязной термомеханической модели поведения СПФ Д. Лагудаса. Помимо сверхупругого поведения предложенный алгоритм описывает температурный механизм протекания фазовых превращений.

Были получены численные решения ряда тестовых задач. Во всех случаях результаты соответствуют теоретическим представлениям о поведении СПФ при заданных температурных и силовых режимах. Также на основе качественного анализа модели и результатов решения тестовых задач были сделаны выводы о недостатках модели Д. Лагудаса и области ее практической применимости.

Для оценки достоверности результатов численного моделирования проведено сравнение решений тестовых задач с имеющимися экспериментальными данными. В результате сравнения функций Танака, Лагудаса и Лианга – Роджерса, аппроксимирующих диаграмму «деформация – температура» при фазовом превращении, был сделан вывод о том, что наибольшая сходимость с экспериментальными данными наблюдается у аппроксимирующей функции Лианга – Роджерса. Кроме того, данная аппроксимация –

единственная из трех, обеспечивающая гладкость диаграммы во всем диапазоне изменения температуры, в том числе в точках начала и окончания фазового превращения.

На основании результатов экспериментальной проверки решения тестовых задач, ведутся работы по усовершенствованию полученного алгоритма с целью более достоверного описания явлений, протекающих при фазово-структурных превращениях в СПФ.