

УДК 539.2+004.422.8

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ

© М. Е. Семенов*, С. Н. Колупаева

* isthis@yandex.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск

Одним из подходов при создании математических моделей пластической деформации, учитывающих физические механизмы реализации пластичности, является использование систем обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) баланса деформационных дефектов. В этом случае, как правило, рассматривается однородная дефектная среда, а при записи явного вида дифференциальных уравнений рассматриваются физические, кристалло-геометрические, термодинамические и прочие свойства материала. По отношению к классическим моделям механики сплошной среды такого рода модели являются моделями, описывающими элемент среды. В работах [1–3] сформулированы математические модели, включающие уравнения баланса дислокаций и точечных дефектов различного типа для ГЦК металлов и дисперсно-упрочненных материалов с некогерентной второй фазой. Поскольку процессы генерации и аннигиляции деформационных дефектов являются существенно разноскоростными, переменные модели — разнорядковыми и изменяющимися на интервале интегрирования на несколько порядков величины, системы ОДУ моделей [2, 3] являются жесткими. Для работы с моделями [1–3] создан комплекс прикладных программ Slip Plasticity of Face-Centered Cubic (SPFCC) [1, 4] с развитым интерфейсом пользователя (рис. 1).

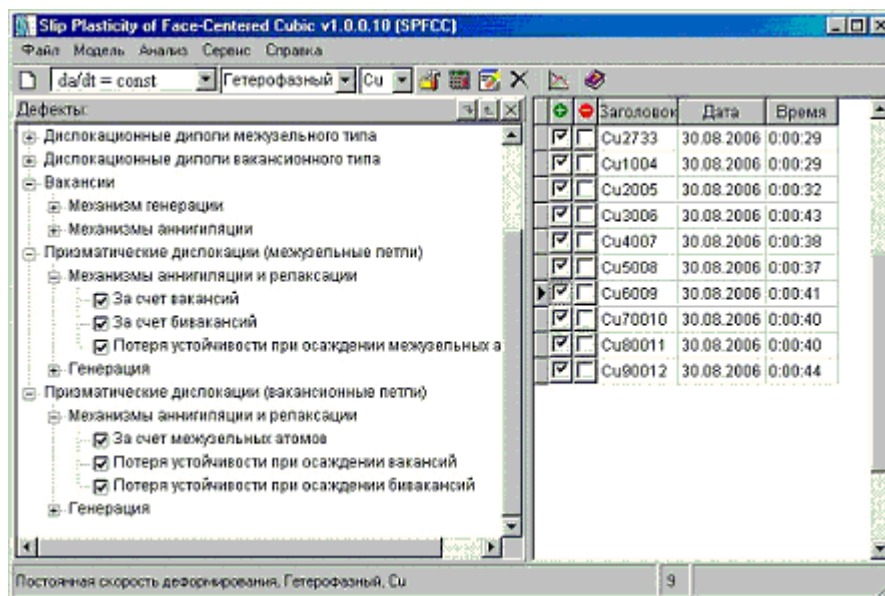


Рис. 1. Главное окно комплекса программ SPFCC.

Windows-подобный интерфейс пакета SPFCC позволяет исследовать процессы пластической деформации скольжения пользователю, не имеющему опыта программирования и работы с численными методами решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений [1, 4].

Пользователь может провести моделирование, используя как полную модель, так и сформировать редуцированную модель для различных внешних воздействий, в которой будут учтены дефекты и механизмы указанные им.

В качестве основного численного метода нахождения решения жестких систем ОДУ в комплексе программ используется неявный метод Гира переменного порядка [5]. Сложным обстоятельством при разработке алгоритма являлся тот факт, что правые части систем ОДУ могут быть кусочно-спитыми, и их явный вид модифицируется в процессе вычислений при достижении определенных физических условий (соотношений между значениями переменных и параметров модели). Разработанные алгоритмы обеспечивают исследователю возможность работы с различным числом уравнений в одном сеансе работы с моделью (для различных деформирующих воздействий и материалов). Заметим, что метод Гира относится к классу неявных методов, поэтому для старта потребовалось использование явного метода Адамса. В пакете реализовано хранение полученного решения с использованием вектора Нордсика. Это представление позволяет легко управлять как порядком метода, так и размером шага. Порядок метода Адамса может изменяться в программе с 1 по 12, а порядок метода Гира с 1 до 6.

Результаты тестирования расчетного блока на жестких задачах, аналитическое или табличное решение которых известны из литературы (задача Ван дер Поля, модель Робертсона, задача Круга) [6], свидетельствуют о надежности методов и алгоритмов, используемых в программе SPFCC.

Для каждого компьютерного эксперимента в базе данных кроме полного набора значений переменных системы с заданным пользователем шагом, хранятся значения параметров модели, описание типов дефектов и механизмов, учтенных пользователем при формировании модели, а также возможные комментарии.

В рамках сформулированной математической модели проведены расчёты, с использованием значений параметров, характерных для меди, никеля, алюминия. Кривые ползучести, полученные для постоянной нагрузки, существенно отличаются от кривых ползучести, полученных для постоянного напряжения. Кроме стадии I неустановившейся ползучести и следующей за ней стадии II с приблизительно постоянной скоростью деформации, которую можно условно отождествить со стадией установившейся ползучести, при постоянной нагрузке (растяжение) появляется еще и стадия III с катастрофически нарастающей скоростью.

Созданный программный комплекс может быть использован для численного описания физических процессов пластической деформации ГЦК материалов, возможно использование разработанных моделей совместно с моделями механики и моделями технологических процессов обработки материалов, а также для решения различных задач, требующих работы с жесткими системами дифференциальных уравнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колупаева С. Н., Вихорь Н. А., Семенов М. Е. Математическая модель и комплекс программ для исследования пластической деформации скольжения в ГЦК материалах // Материалы IX международной конференции "Интеллектуальные системы и компьютерные науки" (23–27 октября 2006). Т. 2, часть 1. Под общей редакцией академика Садовниченко В. А., профессора Кудрявцева В. В., профессора Михалева А. В. М.: Издательство МГУ, 2006. С. 150–153.
2. Колупаева С. Н., Семенов М. Е., Пуспешева С. И. Математическое моделирование температурной и скоростной зависимости деформационного упрочнения ГЦК-металлов // Деформация и разрушение материалов. 2006. № 4. С. 40–46.
3. Ковалевская Т. А., Колупаева С. Н., Попов Л. Е. Математическое моделирование пластической деформации скольжения в дисперсно-упрочненных материалах // Структурно-фазовые состояния и свойства металлических систем. Томск: Изд-во НТЛ, 2004. С. 135–163.
4. Семенов М. Е., Колупаева С. Н. Свидетельство об официальной регистрации программы SPFCC для ЭВМ № 20055612381. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12.09.2005.
5. Брайтон Р., Густавсон Ф. Новый эффективный алгоритм для решения дифференциальных систем // Труды института электро- и радиоинженеров. 1972. Т. 60, № 1. С. 124.
6. Gear C. W. Numerical Initial Value Problem in Ordinary Differential Equations // Englewood Cliffs. N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1971. P. 253.