

ТЕРМОДИНАМИКА И СИНЕРГЕТИКА ПЛАСТИЧНОСТИ, СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ И РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Емалетдинов А. К.

Уфимский технологический институт сервиса, Россия, emaltd@mail.ru

Пластическая деформация конденсированных сред развивается обычно крайне неоднородно во времени и по объему кристалла на разных взаимосвязанных уровнях локализации деформации, содержащих большое число взаимодействующих дефектов: вакансий, дислокаций границ зерен, микротрещин и др. Каждый локальный микромеханизм необратимой деформации играет основную роль в определенных термомеханических условиях, задаваемых критическими значениями параметров: напряжений, температуры, плотности дефектов и т.п., образует различные пространственные и временные диссипативные структуры (плотности дефектов, автоколебательные, волновые и др.). Общее термодинамическое соотношение, позволяющее вычислить пластичность, показывает, что разрушение наступает, когда скорость производства энтропии, благодаря слиянию микротрещин, превышает скорость производства энтропии от других диссипативных деформационных процессов (вакансионных, дислокационных и др.).

Записано общее выражение для производства энтропии при пластической деформации материалов различными микромеханизмами, которые являются диссипативными процессами. Термодинамические условия проявления эффекта сверхпластичности как самоорганизации зернограницных процессов определяются вариационным принципом минимума производства энтропии. Скорость производства энтропии является функцией от множества параметров: температуры, скорости деформации, морфологии и размера зерен, кристаллической структуры, текстуры, фазового состава, энергии дефекта упаковки и др.

На основании предложенной физической модели взаимодействия решеточных дислокаций, зернограницных квазидислокаций, вакансий, микротрещин записана система кинетических уравнений для плотности дефектов в приближении времени релаксации. Для получения неоднородных решений (диссипативных структур) типа бегающей шейки в систему уравнений введены диффузионные члены. Анализ решения системы проведен методами теории бифуркаций и отображений Пуанкаре. На основании вариационного принципа получены фазовые портреты бифуркаций решений проявления СПД для критических параметров: температуры, скорости деформирования, размера зерен и образца. Проведен анализ зависимости критических параметров от фазового состава, энергии дефекта упаковки, текстуры и др. Показано, что при СПД термодинамические условие для слияния микротрещин в макротрещину не выполняется, поэтому наблюдается максимальная геометрически предельная деформация, когда площадь сечения образца стремится к нулю. Полученные теоретически, бифуркационные кривые и оценки хорошо коррелируют с имеющимися экспериментальными данными для различных металлов и сплавов.

Появление бифуркации решений кинетических уравнений при критических значениях параметров: напряжений, плотности дефектов, микротрещин, температуры будет описывать зарождение макротрещины и определять пластичность материала. Например, пластичность δ_c и температура вязко-хрупкого перехода T_c находятся из уравнения $\sigma_j \cdot \Delta \varepsilon_j^{(r)}(\delta, T_c) = \sum \sigma_{jk} \varepsilon_{jk}^{(r)}(\delta, T_c)$. Показано, что образование микротрещин

представляет собой процесс самоорганизации неравновесной фононной системы деформируемого кристалла и возникновение коллективных мод движения в кинетике фононной системы.