

Многоуровневая модель автоволнового распространения фронта пластической деформации*

В.А. Старенченко¹, Ю.В. Соловьева¹, И.Г. Вовнова¹, Я.Д. Липатникова¹

¹ Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

Методом многоуровневого 3D-моделирования, основанного на синтезе модели механики деформируемого твердого тела и модели дислокационной кинетики, проведено исследование неоднородностей пластического течения металлических материалов. На основе предложенного подхода получено описание экспериментально наблюдаемых неоднородностей пластической деформации различного вида. Представлены результаты численного эксперимента по деформации одноосным растяжением металлических образцов. Получены трехмерные картины распределения интенсивности пластической деформации, иллюстрирующие формирование стабильной и бегающей (распространяющейся) шейки при растяжении. Показано, что формирование автоволны пластической деформации в твердом теле в виде распространяющейся шейки обусловлено деформационно-сдвиговой неустойчивостью элемента деформируемой среды определенного вида.

Ключевые слова: математическое моделирование, механика упругопластической среды, дислокационная кинетика, макролокализация, шейкообразование, автоволна, метод конечных элементов.

Введение

Процессы пластической деформации кристаллов тесно связаны с явлениями локализации пластического течения, которые проявляются на различных масштабных уровнях [1]. Локализация на микроскопическом уровне связана, прежде всего, с образованием линий деформационного рельефа вследствие осуществления микросдвигов вдоль плоскостей скольжения, которые сопровождаются последовательностью субструктурных превращений [2]. Макроскопические формы локализации пластической деформации включают формирование шейки при растяжении, полос Чернова – Людерса [3–5], полос адиабатического сдвига при высокоскоростном воздействии [6–8], формирование в кристалле зон высокотемпературной суперлокализации пластической деформации [9, 10] и др. Эти процессы часто оказывают негативное влияние на качество обработки металлов, формуемость деталей и вызывают разрушение. Мезоскопический уровень является промежуточным, примером которого служит наблюдение полос сдвига в поликристаллах [11, 12]. По мере увеличения степени деформации локализация может развиваться от низших уровней до высших, вплоть до реализации макропроцессов, ведущих к нестабильной деформации и повреждению материала. Однако наличие механизмов аккомодации способно стабилизировать развитие процессов, делая деформацию более однородной.

Ранее нами было показано влияние различных факторов на варианты развития макрокартин пластического течения в различных условиях нагружения: с устойчивой и безустойчивой локализацией; появление множественной локализации [13]. Факторы могут быть как внутренние, так и внешние: от немоности пластических свойств элемента среды, концентраций вакансий, размера фрагментов, размера зерен и т.д. до размеров образца и наличия или отсутствия макроконцентраторов напряжений на поверхности образца. Геометрические параметры образца также оказывают влияние на особенности локализации деформации.

В представленной работе в рамках трехмерной модели синтеза кинетики накопления деформационных дефектов и механики деформируемого твердого тела [13] приводится описание неоднородностей пластического течения в условиях одноосного растяжения металлических материалов. Анализируются сценарии поведения малых элементов деформируемой среды, приводящие к различным картинам деформации в макроскопическом масштабе. Особое внимание уделяется обсуждению механизмов формирования распространяющейся шейки при растяжении, которое сопровождается движением фронтов пластической деформации. Показано, что распространение фронтов пластической деформации является одним из примеров триггерной автоволны переключения.

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FEMN-2023-0003).