

УДК 620.17

МЕХАНИКА ЗАКРИТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ И НЕЛОКАЛЬНОСТЬ УСЛОВИЙ РАЗРУШЕНИЯ

© 2011 г.

В.Э. Вильдеман, А.В. Ипатова, М.П. Третьяков, Т.В. Третьякова

Пермский государственный технический университет

sem.tretyakova@gmail.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Приведены результаты комплексных исследований закритической стадии деформирования с построением полных равновесных диаграмм и изучения зависимостей процессов накопления повреждений и макро-разрушения от свойств нагружающих систем, а также масштабных эффектов разупрочнения. Предложенные модели представляют элементы механики устойчивого закритического деформирования и нелокальной теории прочности твердых тел.

Ключевые слова: экспериментальная механика, закритическая стадия деформирования, нагружающая система, корреляция цифровых изображений, поля деформаций, локализация деформаций, накопление повреждений, масштабный эффект разупрочнения.

Введение

Развитие научных основ уточненного прочностного анализа, включающего в себя оценку безопасности ответственных конструкций, на основе комплексного анализа факторов, влияющих на характер процессов образования и развития дефектов, связано с изучением такого важного механического явления, как деформационное разупрочнение материалов на закритической стадии деформирования [1], непосредственно предшествующей моменту разрушения. Экспериментальное изучение основных закономерностей этого явления, а также их математическое моделирование создают условия для адекватного прогнозирования условий разрушения деформируемых тел и анализа возможностей управления процессами разрушения. Именно на закритической стадии деформирования происходит формирование условий макроразрушения, которые, в отличие от традиционных представлений, не являются однозначно связанными с напряженно-деформированным состоянием в точке деформируемого тела. Ключевую роль в переходе от стадии равновесного накопления повреждений к неравновесной, лавинообразной стадии разрушения играет нагружающая система.

Вопросы экспериментального изучения закритической стадии деформирования

В настоящее время возникла потребность в проведении комплексных экспериментальных

исследований закритической стадии деформирования материалов и элементов конструкций при сложном напряженном состоянии и в условиях сложных (близких к эксплуатационным или технологическим) механических воздействий [2], а также в накоплении фактического материала для обоснования новых неклассических моделей разрушения материалов на основе анализа устойчивости процессов неупругого деформирования.

В Центре экспериментальной механики Пермского государственного технического университета проведены исследования указанных вопросов с использованием сервогидравлической двухосевой (растяжение–сжатие/кручение) испытательной системы Instron 8850 и цифровой оптической системы для трехмерного анализа полей перемещений и деформаций Limes Vic-3D [3].

Получены новые экспериментальные данные о закритической стадии деформирования функциональных и конструкционных материалов, включающие полные диаграммы деформирования при активном квазистатическом нагружении и разгрузке, а также при дополнительных воздействиях: динамической перегрузке, вибрациях, предварительном циклическом нагружении.

Актуальными продолжают оставаться вопросы обработки экспериментальных данных в условиях возникновения локализации деформаций. Указанное явление было исследовано методом корреляции цифровых изображений с использованием оптической системы. Обнаружены и количественно исследованы эстафетный механизм деформирования на стадии формирования зуба

текучности, а также явления локализации деформаций и упругой разгрузки на стадии закритического деформирования.

Рассмотрены вопросы экспериментальных исследований условий реализации закритической стадии деформирования материалов с учетом свойств нагружающих систем, управление которыми осуществляется за счет использования опытных образцов специальной усложненной геометрии [4]. Получены условия устойчивости закритического деформирования, анализ которых позволяет прогнозировать момент разрушения при частичной реализации закритической стадии деформирования в рабочей зоне образца. С использованием цифровой оптической системы получены результаты экспериментальных исследований закритической стадии деформирования на плоских образцах специальной усложненной конфигурации. В результате исследований продемонстрировано влияние жесткости нагружающей системы на предельное состояние материала. Проведены испытания серий образцов различных размеров, полученные экспериментальные данные согласуются с гипотезой существования масштабного эффекта на стадии разупрочнения, сформулированной на основе результатов математического моделирования [5].

Закономерности и модели механического поведения материалов на закритической стадии деформирования

Накопленный к настоящему времени фактический и теоретический материал позволяет выделить следующие основные закономерности деформационного разупрочнения материалов на закритической стадии деформирования. Процессы структурного разрушения и трещинообразования отражаются на диаграмме деформирования, приводя к ее нелинейности, а на заключительной стадии являются причиной разупрочнения. Сопротивление разрушению на закритической стадии деформирования, соответствующей ниспадающей ветви диаграммы деформирования, зависит от жесткости нагружающей системы. Диаграмма обрывается в наивысшей точке при нулевой жесткости нагружающей системы, т.е. при «мягком» нагружении. Каждая точка на ниспадающей ветви может соответствовать моменту потери несущей способности в зависимости от условий нагружения. Потеря несущей способности может рассматриваться как переход от стабильной к неравновесной стадии процесса структурного разрушения на закритической стадии. Реализация указанной стадии деформирования приводит к

повышению живучести и, следовательно, безопасности конструкций, использованию резервов несущей способности объектов [6].

Закритическая стадия деформирования проявляется при моделировании процессов структурного разрушения композиционных материалов. Диаграммы деформирования, отражающие зависимость макронапряжений от макродеформаций, имеют выраженный ниспадающий участок. Естественно, что вид диаграмм зависит от структурных особенностей, в частности объемных долей компонентов, пористости, ориентации анизотропных зерен и т.д. [5].

Полученные новые данные согласуются и дополняют сформулированные и математически обоснованные ранее в [1, 7] основные положения механики закритического деформирования. Предложенные для описания свойств нагружающих систем в рамках постановок краевых задач граничные условия третьего рода, или контактного типа, несут информацию о свойствах той части системы, которая передает нагрузку исследуемой области, но не включена непосредственно в расчетную схему.

На основе подтвержденных данных о влиянии жесткости нагружающей системы на предельное состояние материала дано теоретическое обоснование нелокального критерия предельного состояния материала как условия потери устойчивости процесса деформирования на закритической стадии.

Работа выполняется при финансовой поддержке Минобрнауки в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» (госконтракт №02.518.11.7135), грантами РФФИ-Урал №07-01-96021 и РФФИ №08-08-00702.

Список литературы

1. Вильдеман В.Э., Соколкин Ю.В., Ташкинов А.А. Механика неупругого деформирования и разрушения композиционных материалов. М.: Наука, 1998. 288 с.
2. Чаусов Н.Г. и др. Особенности деформирования пластичных материалов при динамических неравновесных процессах // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2009. Т. 75, №6. С. 52–59.
3. Вильдеман В.Э., Санникова Т.В., Третьяков М.П. Экспериментальное исследование закономерностей деформирования и разрушения материалов при плоском напряженном состоянии // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2010. №5. С. 106–111.
4. Вильдеман В.Э., Чаусов Н.Г. Условия деформационного разупрочнения материала при растяжении образца специальной конфигурации // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. №10. С. 55–59.
5. Вильдеман В.Э., Ильиных А.В. Моделирование

процессов структурного разрушения и масштабных эффектов разупрочнения на закритической стадии деформирования неоднородных сред // Физическая мезомеханика. 2007. Т. 10, №4. С. 23–29.

6. Вильдеман В.Э. Механика закритического деформирования и вопросы прочностного анализа //

International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2008. V. 4. Iss. 2. P. 43–44.

7. Вильдеман В.Э. О решениях упругопластических задач с граничными условиями контактного типа для тел с зонами разупрочнения // ПММ. 1998. Т. 62. Вып. 2. С. 304–312.

MECHANICS OF POSTCRITICAL DEFORMATION AND NONLOCALITY OF FAILURE CONDITIONS

V.E. Wildemann, A.V. Ipatova, M.P. Tretyakov, T.V. Tretyakova

The aim of this research was to investigate the postcritical stage of deformation, including the construction of full equilibrium curves, and to study the dependence of damage accumulation processes and macro-failure on the properties of loading systems, as well as scale effects of softening. The suggested models present elements of the stable postcritical deformation mechanics and the nonlocal theory of solid strength.

Keywords: experimental mechanics, postcritical stage of deformation, loading system, digital image correlation, strain fields, strain localization, damage accumulation, scale effect of softening.