

СВОЙСТВА СОЛИТОНА В УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ЗАТУХАНИЕМ

БНТУ, г. Минск

Обобщение упругопластической модели формирования и развития деформации с градиентом второго порядка [1, 2] на случай учета диссипативных процессов типа затухания позволяет записать уравнение для изменений деформации ε для нисходящей ветви диаграммы материала на стадии разупрочнения относительно однородного состояния в следующем виде [3]

$$\frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial t^2} + \alpha \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x \partial t} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\kappa \varepsilon - \frac{1}{2} f \varepsilon^2 + \delta^2 \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x^2} \right) = 0.$$

Здесь α , κ , f и δ - параметры модели, описывающие ее физические свойства. В отличие от исходного нелинейного уравнения упругопластической модели для ε , которое не имеет односолитонного решения, данное уравнение обладает локализованным в пространстве решением, имеющим вид одиночного солитона. Это решение получено в работе [4] и может быть записано следующим образом

$$\varepsilon(x, t) = \frac{3\delta^2 \kappa^2}{f} \operatorname{sech}^2 \left(\frac{k_1 x - \omega_1 t + \eta_1^0}{2} \right),$$

где k_1 и ω_1 - некоторые параметры решения, причем параметр ω_1 можно найти при помощи уравнения связи между ним и параметром k_1 , который является в данной теории произвольным. Параметр η_1^0 имеет смысл начальной фазы и без потери общности может быть принят равным нулю.

В настоящей работе исследованы закономерности поведения данного односолитонного решения в зависимости от величины

параметров обобщенной нелинейной упругопластической модели.

Наиболее простой и очевидной является зависимость от параметра f , который определяет отклонение графика диаграммы материала от линейной зависимости. Ни один из параметров решения не зависит от f и единственное, что необходимо учитывать, имея в виду обратно пропорциональную зависимость от этого параметра, так это, что $f < 0$.

Параметр κ описывает тангенс угла наклона диаграммы материала для линейной зависимости и может принимать значения как больше (затухание велико), так и меньше единицы (затухание мало). Когда затухание мало, этот параметр значительно влияет на вид решения. Хотя в целом солитонный характер решения сохраняется, изменение величины κ приводит к отклонениям от солитонного профиля и появлению ограниченного числа нерегулярных осцилляций. При возрастании величины κ скорость, с которой происходят эти осцилляции функции $\varepsilon(x, t)$, уменьшается. Если затухание велико, то решение носит типичный солитонный профиль и изменение величины параметра κ практически не влияет на его вид. Относительно скорости, с которой происходит изменение напряжений в материале при разупрочнении, можно отметить, что в этом случае ее влияние на величину флуктуаций деформации несущественно.

Параметр δ равен отношению характерного размера структурной неоднородности материала или масштаба внутренней структуры материала к характерному макроскопическому размеру задачи. Следовательно, $\delta < 1$. Если рассмотреть влияние параметра δ в случае, когда затухание мало, то зависимость профиля функции $\varepsilon(x, t)$ от этого параметра не велика. Для больших значений δ зависимость амплитудного значения функции от этого параметра более выражена, чем в области малых δ . В различные фиксированные моменты времени, если

затухание мало, для различных δ профиль функции имеет разный вид и изменяется от обычного солитона до темного солитона. При этом соотношение между амплитудными значениями обоих солитонов может быть произвольным, что указывает на возбуждение дополнительных мод в решении.

Параметр α представляет собой коэффициент затухания и характеризует диссипативные процессы. В области промежуточных значений α имеют место основные закономерности поведения решения, установленные для малого затухания. Хотя и появляются некоторые отклонения от этих закономерностей, например, появляется второй темный солитон, но эти отклонения малы. Кроме того, второй темный солитон уменьшается с ростом δ . Решение имеет сложный профиль и изменение α в этом диапазоне существенно сказывается на профиле функции, описывающей решение. Если же затухание велико, то потери энергии играют основную роль в определении характера формирования и распространения деформаций. График функции $\varepsilon(x, t)$ представляет собой типичный темный солитон (вследствие знака параметра f), какие-либо дополнительные вклады в решение отсутствуют, не происходит заметных изменений профиля возмущения деформации при ее распространении в материале. Если рассмотреть профиль решения в начальные моменты времени, то при больших α он имеет постоянное значение и практически не зависит от этого параметра (если остальные параметры модели зафиксированы). Постепенное уменьшение величины профиля происходит по истечении некоторого времени тем заметнее, чем больше α , Величина затухания столь значительна, что энергии недостаточно для каких-либо дополнительных процессов взаимодействия. Единственное заметное различие заключается в величине изменений деформации, которая описывает неоднородное напряженное состояние. При больших неоднородностях внутренней структуры материала в нем возникают большие по модулю флуктуации деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кукуджанов, В.Н. О структуре полос локализации деформации в нелокальной теории пластичности при динамическом нагружении / В.Н. Кукуджанов // *Механика твердого тела.* – 1998. – № 6. – С. 104-114.

2. Мягков, Н.Н. О динамической локализации деформации в разупрочняющемся стержне / Н.Н. Мягков // *Механика композиционных материалов и конструкций.* – 1999. – Т. – 5. № 3. – С. 28-32.

3. Князев, М.А. Учет диссипации в нелинейной упругопластической модели / М.А. Князев // *Материалы Десятой международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике», Минск, апрель 2012.:* в 4 т. / *Белорусский национальный технический университет;* под ред. Б.М. Хрусталева, Ф.А. Романюка, А.С. Калиниченко. – Минск: БНТУ, 2012. – Т. 3.

4. Земляков, Г.В. Влияние диссипации на локализацию деформации в задаче о разупрочняющемся стержне / Г.В. Земляков [и др.] // *Доклады НАН Беларуси.* – 2011. – Т. 55, № 6. – С. 115-118.

УДК 621.793

Койда С.Г., Иващенко С.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ *БНТУ, г. Минск*

Целью данной работы заключалась в исследовании структуры ионно-плазменных покрытий с помощью электронной микроскопии.

Объектами исследования были ионно-плазменные покрытия из нитрида титана, нанесенные на алюминиевый сплав Д16Т. Исследования проводились на образцах имевших раз исходную шероховатость поверхности $Ra = 0,2$ мкм, которые устанавливались