

УДК 539.374

ТЕОРИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ВЫСОКИМИ УДЕЛЬНЫМИ СИЛАМИ ТРЕНИЯ

© 2011 г.

Е.А. Лямина

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва

lyamina@ipmnet.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Предлагается нелокальный критерий пластического разрушения как обобщение одного из широко используемых локальных критериев разрушения. В отличие от существующих нелокальных критериев пластического разрушения, область применения предлагаемого критерия ограничена окрестностью поверхностей максимального трения (в остальных точках новый критерий просто сводится к исходному локальному критерию). Предложенный подход применен для параметрического анализа процесса вытяжки в условиях плоскодеформированного состояния. Установлено, что полученные результаты согласуются с общими представлениями о характере влияния параметров рассмотренного процесса на условия возникновения пластического разрушения.

Ключевые слова: нелокальный критерий пластического разрушения, трение, интенсивные пластические деформации, вытяжка, обработка давлением, пластичность.

В процессах пластического деформирования материалов разрушение может наступать вблизи поверхностей контакта обрабатываемого материала и инструмента. Если соответствующие удельные силы трения достаточно велики, то структура материала в тонком слое вблизи поверхностей трения значительно отличается от его структуры в основном объеме. Теоретические решения при условии максимального трения предсказывают, что эквивалентная скорость деформации стремится к бесконечности при приближении к поверхности максимального трения для ряда общепринятых моделей жесткопластических тел по закону

$$\xi_{eq} = D/\sqrt{s} + o(1/\sqrt{s}), \quad s \rightarrow 0, \quad (1)$$

где D – коэффициент интенсивности скорости деформации, s – расстояние до поверхности максимального трения. Один из наиболее широко используемых локальных критериев пластического разрушения имеет вид

$$\int_0^t \frac{\sigma_1}{\sigma_{eq}} \xi_{eq} dt = C. \quad (2)$$

Здесь интегрирование выполняется вдоль пути деформирования, t – время, σ_1 – максимальное главное напряжение, σ_{eq} – эквивалентное напряжение, C – постоянная материала. Из (1) и (2) видно, что критерий (2) предсказывает наступление разрушения в точках поверхности максимального трения в самом начале процесса деформирования независимо от остальных условий процесса. Что-

бы преодолеть эту трудность, предлагается использовать нелокальный критерий пластического разрушения вблизи поверхностей максимального трения, обобщающий критерий (2).

Введем вблизи поверхности максимального трения осредненную эквивалентную скорость деформации соотношением

$$\Xi_{eq} = \frac{1}{s_c} \int_0^{s_c} \xi_{eq} ds, \quad (3)$$

где s_c – толщина слоя интенсивных пластических деформаций. Подставляя (1) в (3) и отбрасывая члены высших порядков, получим

$$\Xi_{eq} = 2D/\sqrt{s_c}. \quad (4)$$

Локальный критерий разрушения (2) может быть обобщен заменой эквивалентной скорости деформации величиной Ξ_{eq} . Тогда из (2) и (4) найдем

$$2 \int_0^t \frac{\sigma_1}{\sigma_{eq}} \frac{D}{\sqrt{s_c}} dt = C_1. \quad (5)$$

Постоянная C_1 должна, вообще говоря, отличаться от C и должна быть определена из специального эксперимента. В случае стационарных процессов критерий разрушения (5) преобразуется к форме

$$2 \int_0^l \frac{\sigma_1}{\sigma_{eq}} \frac{D}{\sqrt{s_c} u_\tau} dl = C_1. \quad (6)$$

Здесь u_τ – скорость материальной точки, движущейся вдоль поверхности трения, в которой ис-

следует возможность возникновения разрушения. При выводе (6) предполагалось, что $l = 0$ при входе материальной точки в пластическую зону.

Критерий пластического разрушения (6) может быть применен для анализа процесса вытяжки полосы в условиях плоскодеформированного состояния. Для анализа напряженно-деформированного состояния в таком процессе можно использовать известное аналитическое решение для плоского течения пластической массы через сходящийся бесконечный канал. Вид коэффициента интенсивности скорости деформации следует из этого решения:

$$D = \frac{B}{\sqrt{3}c^{3/2}r^{3/2}}, \quad (7)$$

постоянная интегрирования c определяется из уравнения

$$\Phi_0 = \int_0^{\pi/4} \frac{\cos 2\psi}{(c - \cos 2\psi)} d\psi. \quad (8)$$

Здесь Φ_0 – половина угла раствора канала. Напряжения даются в аналитической форме. Подставляя σ_1 и (7) в (6), можно установить условия возникновения разрушения. Для вычисления величины s_c использованы известные экспериментальные данные. В уравнение для величины s_c также входит коэффициент интенсивности скорости деформации. Вычисления показали, что критерий (6) правильно отражает основные качественные зависимости между параметрами процесса и параметрами, характеризующими условия возникновения пластического разрушения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №10-08-00083.

THE THEORY OF DUCTILE FRACTURE IN THE VICINITY OF SURFACES OF HIGH FRICTION STRESS

E.A. Lyamina

In the present work, a non-local ductile fracture criterion is proposed as a generalization of one of widely used local ductile fracture criteria. In contrast to existing non-local ductile fracture criteria the area of applicability of the proposed criterion is restricted to a vicinity of maximum friction surfaces (at other points the criterion simply reduces to the original local criterion). The approach proposed is used for a parametric study of the process of plane strain drawing. The results obtained are found to be in agreement with general ideas concerning the effect of the parameters of the process considered on the condition of ductile fracture initiation.

Keywords: non-local ductile fracture criterion, friction, intensive plastic deformation, drawing, material forming, plasticity.