

## ДЕФОРМАЦИОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ОПИСАНИИ ПРОЦЕССОВ ЗАРОЖДЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТРЕЩИНЫ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЖЕНИЯХ

Кочеров Е.П.<sup>1</sup>, Хромов А.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ОАО «Кузнецов», Самара, Россия

<sup>2</sup> Самарский государственный аэрокосмический университет

### STRAIN-ENERGY APPROACH IN PROCESSES DESCRIPTION OF CRACK INITIATION AND ITS PROPAGATION IN LOW-CYCLE LOADING IN STRUCTURAL ELEMENTS

*Kotcherov E.P., Khromov A.I. The model of plastic flow in the neighborhood of plastic strains localization zone is suggested. This approach allows estimating dissipative processes that lead to crack initiation and its propagation.*

Анализ процессов хрупкого и упруго-пластического разрушения в нелинейной постановке строится, как правило, на основе инвариантного J-интеграла и  $\delta_k$ -теории и представляет взгляд на пластическую область в окрестности вершины трещины со стороны, по существу, нелинейно упругой части тела. Он не учитывает основной параметр, отличающий теорию упругости от теории пластичности - диссипацию механической работы внутренних сил. Вместе с этим именно этот параметр существенно влияет на зарождение трещины и, по-видимому, определяет скорость и направление ее развития.

Целью рассматриваемого подхода является формулировка условия разрушения, учитывающих повреждаемость материала вследствие диссипации механической работы внутренних сил, которая считается основной характеристикой истории деформирования материала. Показано, что вид этих условий существенно зависит от вида условия пластичности и наиболее простая формулировка критериев разрушения получается при условии пластичности, связанном с поверхностью  $\Sigma$  деформационных состояний несжимаемого жесткопластического тела, точнее с линиями пересечения этой поверхности с плоскостями, параллельными девиаторной плоскости (рис. 1), [1, 2].

За меру деформации принимается тензор конечных деформаций Альманси  $E$ , за параметр упрочнения принимается его первый инвариант  $h = E_1 + E_2 + E_3$ , который мо-

жет быть заменен энергетическим параметром, связанным с удельной диссипацией

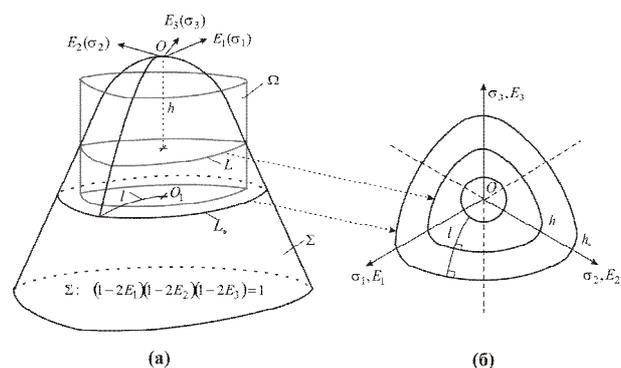


Рис. 1. Расчетная схема

энергии  $W$  в процессах деформирования по линиям  $l$ , ортогональным линиям уровня на девиаторной плоскости (рис. 1, б).

Процесс разрушения понимается как процесс зарождения макротрещины и процесс дальнейшего ее распространения, [3]. В связи с этим вводятся две механические характеристики разрушения:  $W_{**}$  и  $W_*$ , определяющие момент зарождения макротрещины и скорость ее распространения, соответственно. Константа  $W_{**}$  определяет положение критических линий  $L$  и  $l$ , при пересечении которых происходит зарождение макротрещины. Определение констант  $W_{**}$  и  $W_*$  производится на основе одноосного растяжения цилиндрического образца по диаграмме  $\sigma - \varepsilon$  и величин  $\delta, \psi$ , соответствующих относительному удлинению и относительному сужению образца при разрушении.

Предполагается, что при одноразовом деформировании ( $N_0$ ) нового образца предельная линия  $L_*$  соответствует максимально возможному упрочнению материала, т.е. соответствует пределу прочности  $\sigma_B$ . Предполагается также, что, начиная с некоторого момента, предварительное деформирование материала (например, циклическое растяже-

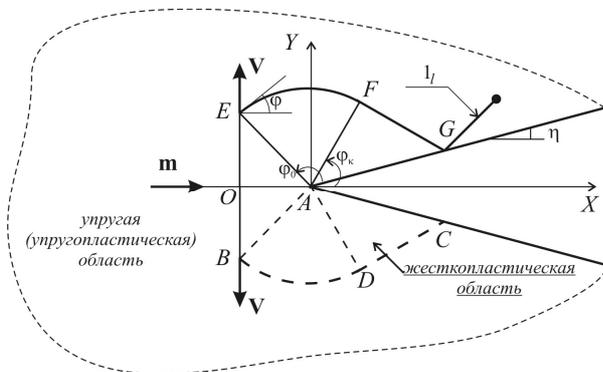


Рис. 2

ние-сжатие образца без разрушения) приводит к снижению величины  $\sigma_B$ , т.е. уменьшает способность материала к упрочнению. Поэтому величины  $W_{**}$ ,  $W_*$ ,  $h_*$  являются функциями накопленной удельной диссипации энергии  $W_N$  в каждой частице.

Обобщение рассматриваемого подхода на процесс распространения трещины в упругопластическом теле проводится следующим образом: распространение трещины в упругом теле рассматривается как движение углового выреза вместе с небольшой жесткопластической областью (рис. 2), [4]. Это обобщение позволяет связать значение инвариантного контурного J-интеграла с константой  $W_*$ :

$$\frac{J}{2W \cdot l_l} = \frac{\sqrt{2} \int_{\varphi_0}^{\varphi_k} \left( \frac{\partial v}{\partial \varphi} + u \right) d\varphi}{|Vm| \int_{\varphi_0}^{\varphi_k} \left( \frac{\partial v}{\partial \varphi} + u \right) \frac{d\varphi}{u}}$$

При предположении, что пластическая область мала (ее размеры стремятся к нулю)

распределение нормальных скоростей будет стремиться к полю скоростей в задаче о растяжении жесткопластической полосы с V-образным вырезом, а невязка касательных скоростей, связанная с приближенным «склеиванием» упругой и жесткопластической областей, будет стремиться к нулю. Тогда отношение  $\frac{J}{2W_*}$  оценивается выражением

$$\frac{J}{2W_*} = -0.782\eta + 1,259$$

с достоверностью аппроксимации  $R^2 = 0,999$ .

### Библиографический список

1. Хромов, А.И. Деформационные состояния и условия разрушения жесткопластических тел / А.И. Хромов, Е.П. Кочеров, А.Л. Григорьева // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 4, № 413. – С. 481-485.
1. Буханько, А.А. Деформационно-энергетический критерий разрушения жесткопластических тел / А.А. Буханько, А.Л. Григорьева, Е.П. Кочеров, А.И. Хромов // Известия РАН. МТТ. – 2009. – № 6. – С. 178-186.
2. Хромов, А.И. Пластические константы разрушения / А.И. Хромов, А.А. Буханько, О.В. Козлова, С.Л. Степанов // ПМТФ. – 2006. – Т. 47, № 2. – С. 147-155.
3. Хромов, А.И. Концентраторы деформаций / А.И. Хромов, А.А. Буханько, С.Л. Степанов // Доклады Академии наук. – 2006. – Т. 407, № 6. – С. 777-781.
4. Кочеров, Е.П. Численно-аналитические методы расчета деформаций и оценка прочности элементов конструкций в машиностроении / Е.П. Кочеров // Вестник СГАУ. – 2007. – № 1(12). – С. 182-186.