

УДК 539.3

ОБОБЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ ПРОЧНОСТИ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В РАСЧЕТНОЙ ПРАКТИКЕ

© 2011 г.

И.В. Кучеренко¹, А.Ф. Никитенко²

¹Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

²Институт гидродинамики им. М.В. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

kucher@ngs.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Сформулирован критерий прочности (длительной прочности), являющийся обобщением всех известных критериев, эквивалентное напряжению в которых является однородной относительно напряжений функцией первой степени. Рассмотрена его геометрическая интерпретация в пространстве главных напряжений и в случае плоского напряженного состояния. С использованием сформулированного критерия решены задачи предельного равновесия тел, материал которых находится в условиях ползучести, в случае плоского деформированного состояния и плоского напряженного состояния.

Ключевые слова: критерии прочности, эквивалентное напряжение, пластичность, длительная прочность, разрушение.

Напряженно-деформированное состояние элементов конструкций существенно зависит от используемого в соответствующих расчетах условия прочности. Критериев прочности достаточно много (более 30), что затрудняет выбор конкретного для практического использования. Поэтому возникает потребность в едином обобщенном критерии.

Такой критерий был сформулирован в [1]:

$$\sigma_e = \sigma_i f(\zeta) + \beta \sigma_0, \quad (1)$$

где σ_i – интенсивность напряжений, связанная с октаэдрическим касательным напряжением τ_0 зависимостью $\sigma_i = 3\tau_0/\sqrt{2}$, σ_0 – гидростатическая составляющая тензора напряжений.

Условие начала разрушения тела в наиболее напряженной его точке имеет вид:

$$\sigma_i f(\zeta) + \beta \sigma_0 = k, \quad (2)$$

где k – предел прочности (длительной прочности).

Критерий (1) представляет собой линейное суммирование ответственных за разрушение материала – октаэдрического касательного напряжения τ_0 , связанного с удельной энергией формоизменения, и октаэдрического нормального напряжения, связанного с удельной энергией изменения объема. Долевое участие энергии изменения формы в процессе разрушения корректируется функцией угла вида напряженного состояния $f(\zeta)$, энергия изменения объема – коэффициентом внутреннего трения β . Функция $f(\zeta) = [1 + \alpha(\sin 3\zeta)^\lambda]^{1/2\nu}$ выбрана таким образом, что из нее при некоторых значениях констант α , λ , ν следует извест-

ная функция Прагера, используемая при формулировке условий ползучести материала и при построении потенциала ползучести; аналогично получается функция Гениева–Киссюка и соответственно критерий, используемый при оценке прочности различных бетонов. Если $f(\zeta) = 1$, то обобщенный критерий (1) вырождается в критерий Мизеса–Шлейхера. При специальном задании функции $f(\zeta)$ критерий (1) переходит в критерии Джонсона, Хейхерста, Лебедева, Сдобырева, Кулона – Мора и другие [2, 3], то есть критерий (1) обобщает практически все известные критерии, эквивалентное напряжение в которых являются однородной относительно напряжений функцией первой степени. Становится очевидным, что он не хуже, чем вышеупомянутые критерии, соответствует имеющимся экспериментальным данным по прочности, в том числе по длительной прочности.

В пространстве главных напряжений предельная поверхность представляет собой конус, сечение которого девиаторной плоскостью образует криволинейный треугольник, отсекающий на проекциях главных осей тензора напряжений отрезки, равные пределам прочности (длительной прочности) на растяжение, сжатие и кручение.

В случае плоского напряженного состояния (2) представляет собой семейство кривых второго порядка, параметром которого является угол вида напряженного состояния ζ : эллипс, если $\beta < \sqrt{3}f(\zeta)/2$, парабола, если $\beta = \sqrt{3}f(\zeta)/2$, гиперболола, если $\beta > \sqrt{3}f(\zeta)/2$. Из анализа экспери-

ментальных данных установлено, что аппроксимировать предельную кривую одним аналитическим выражением для всех напряженных состояний невозможно. Поэтому необходимо аппроксимировать предельную кривую частями кривых второго порядка (эллипса, гиперболы или параболы), осуществляя их «склежку» из условия непрерывности кривой. В статьях [4, 5] сделан вывод об удовлетворительном соответствии расчетной предельной кривой экспериментальным данным.

Требование выпуклости сечения поверхности девиаторной плоскостью, разделение материалов на одинаково и не одинаково работающие на растяжение–сжатие в процессе ползучести и «склейка» из условия непрерывности предельной кривой приводят к тому, что обобщенный критерий оказывается двухпараметрическим.

С использованием обобщенного критерия прочности решена задача предельного равновесия тел [6], материал которых находится в условиях ползучести, в случае плоского напряженного состояния и плоского деформированного состояния; вычислены предельные значения внешних температурно-силовых воздействий на тело (элемент конструкции) [7].

Очевидно, что на тип системы уравнений равновесия существенное влияние оказывает аппроксимация критерия длительной прочности (прочности). Применительно к плоскому напряженному состоянию установлены области гиперболичности системы при использовании обобщенного критерия, и как частные случаи, при его вырождении в критерии Мизеса–Шлейхера и Мизеса. Исследованы зависимости областей гиперболичности от характеристик материала [8].

Получены соотношения между искомыми функциями на характеристиках и установлена существенная их зависимость от особенностей неупругого деформирования материала; рекомендуется использовать эти соотношения в расчетной практике.

Список литературы

1. Никитенко А.Ф., Коврижных А.М., Кучеренко И.В. Единый (обобщенный) критерий прочности материалов. Сообщение 1 // Изв. вузов. Строительство. 2006. №11–12. С. 4–11.
2. Лебедев А.А., Ковальчук Б.И., Гигиняк Ф.Ф., Ламашевский В.П. Механические свойства конструкционных материалов при сложном напряженном состоянии. Киев: Наук. думка, 1983. 366 с.
3. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. Киев: Наук. думка, 1976. 416 с.
4. Никитенко А.Ф., Коврижных А.М., Кучеренко И.В. Единый (обобщенный) критерий прочности материалов. Сообщение 2 // Изв. вузов. Строительство. 2007. №1. С. 33–38.
5. Никитенко А.Ф., Кучеренко И.В. Экспериментальное обоснование обобщенного критерия прочности // Математическое моделирование и краевые задачи: Тр. Седьмой Всерос. науч. конф. Ч. 1. Самара. 2010. С. 237–240.
6. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1988. 712 с.
7. Никитенко А.Ф., Резников Б.С., Кучеренко И.В. Предельные нагрузки при неупругом деформировании элементов конструкций // Изв. вузов. Строительство. 2009. №6. С. 83–96.
8. Никитенко А.Ф., Резников Б.С., Кучеренко И.В. Предельные нагрузки при неупругом деформировании элементов конструкций // Изв. вузов. Строительство. 2010. №8. С. 12–20.

THE GENERALIZED CRITERION OF DURABILITY AND ITS USE IN DESIGNING PRACTICE

I.V. Kucherenko, A.F. Nikitenko

A criterion of durability (long-term durability) is formulated, which is a generalization of all the known criteria where the equivalent stress is a first-order stress-homogeneous function. Its geometrical interpretation is considered in the case of a complex stressed state and for the case of a plane stressed state. Using the formulated criterion, the problem of limiting balance of the bodies with the material under creep conditions, both for the plane strained state and plane stressed state, is solved.

Keywords: durability criterion, equivalent stress, plasticity, long durability, damage.