

УДК 539.374 (575.2) (04)

УСЛОВИЯ ТЕКУЧЕСТИ И ДЕФОРМАЦИОННАЯ АНИЗОТРОПИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

И.В. Гончарова – аспирант

The Mises-Hill criterion and its modifications do not reveal in full the available plastic deformations in anisotropic materials. Initial elastic anisotropy is seldom taken into account. The polycrystals plastic deformation can occur as a result of idealized slipping in the planes of shear stresses. The relevant yield criterion can be formulated as relations between each principal shear stress and octahedral one.

Конструкционные материалы обладают, как правило, начальной анизотропией. Для них нет какого-либо одного общепринятого критерия текучести. Для каждого конкретного сплава отыскивается свой критерий, при этом не всегда учитывается упругая анизотропия. Между тем учет последней существенно влияет на соотношение между компонентами тензора пластической деформации в начальной стадии их возникновения. Сама пластическая деформация реализуется за счет скольжений прослоек материала относительно друг друга (или перемещения дефектов структуры) под воздействием соответствующих касательных напряжений. Поэтому формулировку критерия текучести предложено связывать с величиной главных касательных напряжений и такой инвариантной величиной, как октаэдрическое касательное напряжение.

Известно, что у анизотропных материалов отсутствует «единая» диаграмма упрочнения в каких-либо общепринятых обобщенных координатах. Наиболее часто встречающийся на практике тип анизотропии – это ортотропная симметрия. Особенно четко она выявляется в опытах на растяжение (сжатие) с внутренним давлением тонкостенных трубчатых образцов. При этом траектории нагружения задаются в пространстве главных напряжений σ_z , σ_φ ($\sigma_r=0$, z , φ и r – направления соответ-

венно вдоль оси, по касательной к цилиндрической образующей и по радиусу трубки). В данном случае обобщенный закон Гука для ортотропного материала имеет вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_z &= \frac{1}{E_z} \sigma_z - \frac{\nu_\varphi}{E_\varphi} \sigma_\varphi; \\ \varepsilon_\varphi &= \frac{1}{E_\varphi} \sigma_\varphi - \frac{\nu_{z\varphi}}{E_z} \sigma_z \quad (E_z, E_\varphi, \nu_{z\varphi}, \nu_\varphi - const) \end{aligned} \quad (1)$$

Кроме того (если главные направления анизотропии совпадают с направлениями главных напряжений), должно выполняться условие симметрии:

$$E_z \nu_\varphi = E_\varphi \nu_{z\varphi} \quad (2)$$

Закону (1) вполне подчиняется циркониевый сплав Zircaloy-2, поведение которого в пределах и за пределами текучести исследовалось R.L. Mehan [1]. Подобным оказался и другой циркониевый сплав – Э110 [2].

Анализ указанных и других экспериментальных данных показал, что пластическую деформацию поликристаллов (металлов и их сплавов) можно интерпретировать как результат (идеализированных) скольжений по площадкам главных касательных напряжений [3]. Соответствующий критерий текучести можно сформулировать в виде зависимостей между каждым главным касательным напряжением

(τ_{ij} , $i, j = 1, 2, 3$) и октаэдрическим касательным напряжением τ_0 :

$$\tau_{ij} = B_{ij} - k_{ij}\tau_0 \quad (B_{ij}, k_{ij} - const). \quad (3)$$

Та или иная из этих зависимостей реализуется при разных видах напряженного состояния. Для начально изотропного материала они переходят в условие текучести М.Я. Леонова:

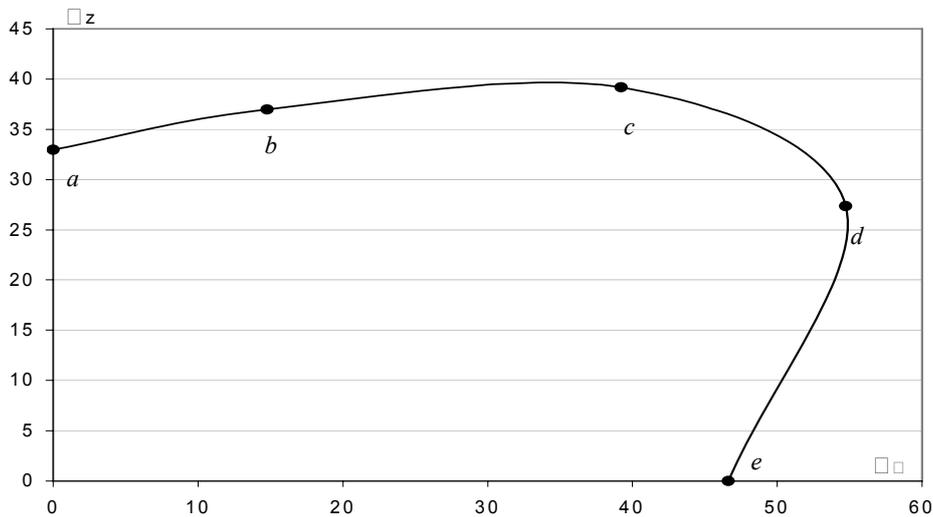
$$\tau_{\max} = T - k\tau_0 \quad (T, k - const), \quad (4)$$

где τ_{\max} – максимальное касательное напряжение

Последнее условие, в свою очередь, может преобразовываться с учетом свойств конкретных материалов и в предельных случаях совпадает либо с критерием Треска-Сен-Венана (т.е. с условием постоянства τ_{\max}), либо с критерием Губера-Мизеса (т.е. условием постоянства τ_0). Такая же закономерность проявляется и для некоторых анизотропных материалов при рассмотрении условий скольжения в площадках главных касательных напряжений: в одних случаях нагружения (для одного и того же материала) выполняется критерий постоянства октаэдрического касательного напряжения, при других характерных напряженных состояниях приемлемым оказывается критерий постоянства максимального

касательного напряжения. Указанное наблюдалось, например, в известных опытах Паркера с трубчатыми образцами из α -латуни [4], испытанных на кручение с внутренним давлением. В этих опытах случай так называемого «косого» растяжения получается при определенном соотношении крутящего момента и внутреннего давления. При этом отличным от нуля является только одно главное напряжение, направленное под углом $55,5^\circ$ к оси образца. В случаях осевого и «косого» растяжения реализуется условие текучести Треска, а в случае окружного растяжения и чистого кручения данный материал подчиняется критерию Губера-Мизеса. Это согласуется с выводами автора эксперимента о разных свойствах данного материала в радиальном направлении и по направлению касательной к цилиндрической образующей образца.

Следует отметить, что почти при всех видах напряженного состояния (за исключением некоторых особых) в момент возникновения текучести происходит плоскопластическая деформация. Это можно объяснить тем, что локальные сдвиги (перемещения дислокаций и других дефектов кристаллической структуры) у пластических материалов происходят вначале в основном по площадкам главных касательных напряжений T_{ij} .



Поверхность текучести для сплава Zircaloy-2.

Отображение критерия текучести (3) в пространстве главных напряжений не нарушает следствие, вытекающее из постулата Друкера относительно выпуклости поверхности текучести. Например, поверхность текучести для сплава Zircaloy-2, построенная на основании условий (3) при задании допуска на соответствующие остаточные главные деформации сдвига (Γ_{ij}), приведена на рисунке (допуск на деформации Γ_{ij} был принят 0,05%).

Точки на поверхности текучести характеризуют напряженные состояния, при которых “включаются в работу” различные площадки T_{ij} . В точке a и на участке $a-b$ работает площадка $T_{z\varphi}$, в точке b – одновременно площадки $T_{z\varphi}$ и T_{zr} , на участке $b-c$ – T_{zr} , в точке c одновременно площадки T_{φ} и T_{zr} , на участке $c-d$ – T_{φ} , в точке d – T_{φ} и T_{φ} , в точке e и на участке $d-e$ работает площадка T_{φ} .

Подобным образом выглядит и поверхность текучести циркониевого сплава Э-110. Отличительная черта этих материалов – наи-

большая прочность при равном двухосном растяжении.

При смене вида напряженного состояния в процессе нагружения, скольжения также происходят поочередно в указанных главных площадках. Эта очередность зависит от соотношения между соответствующими пределами текучести и величины сопротивления сдвигу в рассматриваемые моменты времени.

Литература

1. *Mehan R.L.* Effect of Combined Stress on Yield and Fracture Behavior of Zircaloy-2 // Journal of Basic Engineering. (TRANS.ASME Ser. D.). – 1961. – XII. – Vol. 83. – №4. – P. 499–512.
2. *Аннин Б.Д., Жигалкин В.М.* Поведение материалов в условиях сложного нагружения. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 324 с.
3. *Рычков Б.А.* Концепция скольжения и механика ортотропного материала // Изв. АН России. МТТ. – 1996. – №1. – С. 70–79.
4. *Gill S.S., Parker J.* Plastic stress-strain relationships – some experiments on the effect of loading path and loading history // J. Appl. Mech., Trans. ASME. – 1959. – Ser. E. – Vol. 26. – № 1. – P. 77–87.