

3. Ворович И. И., Запалова В. Ф. К решению нелинейных краевых задач теории упругости методом перехода к задаче Коши.— ПММ, 1965, т. 29, вып. 5.
4. Riks E. The application of Newton's method to the problem of elastic stability.— Trans. ASME, 1972, E39, N 4.
5. Бахвалов Н. С. Численные методы. М., 1973.

УДК 534.222.2

О МАКСИМАЛЬНОЙ АМПЛИТУДЕ УПРУГИХ ПРЕДВЕСТНИКОВ

Ю. И. Фадеенко

(Киев)

Предел текучести твердых тел повышается с ростом давления, причем обычно в первом приближении можно принять

$$(1) \quad Y(p) = Y_0 + \alpha p,$$

где Y_0 — предел текучести при чистом сдвиге для $p = 0$; p — давление; α — постоянная, характеризующая свойства материала. Наличие зависимости (1) сказывается на результатах эксперимента даже и в том случае, когда внешнее давление равно нулю, если шаровая часть тензора напряжений отлична от нуля. Известно, например, что зависимость (1) приводит к различию экспериментально измеренных пределов текучести при одноосных растяжении и сжатии (эффект SD, т. е. strength-differential [1—3])

$$Y^+ = \sqrt{3}Y_0/(\sqrt{3} + \alpha), \quad Y^- = \sqrt{3}Y_0/(\sqrt{3} - \alpha)$$

(индекс плюс отвечает растяжению, минус — сжатию). Однако величина эффекта в этом случае мала. Действительно, отношение пределов текучести при растяжении — сжатии равно отношению

$$Y^+/Y^- = (\sqrt{3} - \alpha)/(\sqrt{3} + \alpha).$$

Экспериментальные данные о значениях коэффициента α довольно многочисленны, но несистематичны, и значения α , приводимые разными авторами для одного и того же материала, могут отличаться в 2 раза и более. Типичными можно считать величины $\alpha = 0,025—0,1$, что приводит к различию пределов текучести всего на 3—12%. У некоторых материалов зафиксированы очень высокие значения α . Так, у титана $\alpha = 0,25—0,33$ [4], лития — 0,25, у некоторых карбидов около 0,4, и, наконец, у сталей при очень высоких давлениях $\alpha \rightarrow 0,5$ [5, 6]. Однако в силу сказанного выше эти данные нельзя считать окончательными, и, за редкими исключениями, на практике учетом эффекта SD пренебрегают.

Более существенно влияние зависимости (1) на структуру упругопластических волн, где приходится иметь дело не с одноосным напряженным состоянием, а с одноосной деформацией. В плоской волне нормальное напряжение σ_{**} (ось x совпадает с направлением распространения волны) связано с главным касательным напряжением τ соотношением

$$(2) \quad \tau = \sigma_{xx}(1 - 2\nu)/2(1 - \nu),$$

где ν — коэффициент Пуассона. В упругом предвестнике пластической волны τ достигает максимально возможного значения, равного динамиче-

скому напряжению деформирования при данной скорости деформирования. Ограничиваясь оценкой чистого влияния (1) и пренебрегая поэтому вязкой составляющей напряжения, отождествим τ с Y из (1). Тогда из (1), (2) следует, что амплитуда упругого предвестника равна

$$(3) \quad \sigma_{xx} = 6(1 - \nu)Y_0/[3(1 - 2\nu) - 2\alpha(1 + \nu)].$$

В литературе по сильным волнам сжатия в твердых телах поправка на α в (3) в явном виде не учитывается [7]. Но уже для такого не слишком чувствительного материала, как высокопрочная сталь при давлениях ~ 10 кбар, $\alpha \approx 0,078$ [3] и поправка в (3) должна составлять около 20%.

Влияние рассматриваемого эффекта резко усиливается при увеличении α . Интересно отметить, что при

$$(4) \quad \alpha \geq (3/2)(1 - 2\nu)/(1 + \nu) \approx 0,25 - 0,6$$

формально имеем $\tau \leq Y$ при любых p , т. е. волна сжатия любой амплитуды оказывается упругой. Разумеется, амплитуда упругого предвестника не может превышать величины, определяемой через (2) теоретической прочностью материала. Следует, однако, иметь в виду, что теоретическая прочность тоже повышается при росте давления и для материалов с α , удовлетворяющими (4), амплитуда предвестника определяется точкой пересечения зависимости теоретической прочности от давления с зависимостью (1), если такая точка вообще существует. Другой фактор, ограничивающий амплитуду предвестника, — это разогрев и плавление материала в сильной волне сжатия [8]. Современное состояние экспериментальных данных не позволяет судить о том, может ли ситуация (4) реализоваться в каком-либо конкретном материале с хорошо выраженными пластическими свойствами. Для решения вопроса необходима постановка специальных экспериментов на ряде материалов с подозреваемыми высокими значениями α .

Поступила 27 II 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. Drucker D. C. Plasticity theory, strength-differential (SD) phenomenon and volume expansion in metals and plastics.— Metall. Trans., 1973, vol. 4, N 3.
2. Spitzig W. A., Sober R. J., Richmond O. Pressure dependence of yielding and associated volume expansion in tempered martensite.— Acta metallurgica, 1975, vol. 23, N 7.
3. Gupta Y. M. Pressure-dependent yield and plastic volume change in high-strength steels.— Acta metallurgica, 1977, vol. 25, N 12.
4. Зильберштейн В. А., Чистотина Н. П., Жаров А. А. и др. Альфа-омега превращения в титане и цирконии при сдвиговой деформации под давлением.— ФММ, 1975, т. 39, № 2.
5. Верецагин Л. Ф., Шапочкин В. А. Влияние гидростатического давления на сопротивление сдвигу в твердых телах.— ФММ, 1960, т. 9, № 2.
6. Фадеенко Ю. И. О прессе сверхвысокого давления.— ПМТФ, 1975, № 5.
7. Физика взрыва. Под редакцией К. П. Станюковича. М., Наука, 1975.
8. Новиков С. А., Сеницына Л. М. О влиянии давления ударного сжатия на величину критических напряжений сдвига в металлах.— ПМТФ, 1970, № 6.