

05

Определение эффекта Баушингера методом прямого удара

© А.М. Брагов, А.Ю. Константинов, А.К. Ломунов

Научно-исследовательский институт механики
Нижегородского государственного университета
E-mail: postmaster@mech.unn.ru

Поступило в Редакцию 12 февраля 2010 г.

На основе регистрации упругопластических профилей нагрузки и разгрузки образца при его динамическом нагружении по методу прямого удара предложен простой способ определения меры динамического эффекта Баушингера. Практическое использование предложенного способа рассмотрено на примере испытания алюминиевого сплава Д16.

Эффект Баушингера является одним из основных эффектов, который определяет процессы упругопластического деформирования и разрушения материалов при знакопеременном нагружении. В этой связи исследованию эффекта Баушингера и определению меры этого эффекта уделяется большое внимание [1,2]. Следует отметить, что в статическом диапазоне нагрузок при скоростях деформации 10^{-4} – 10^{-2} s $^{-1}$ разработаны методики его определения, получены значения меры эффекта Баушингера для многих конструкционных материалов [3]. Что же касается динамического знакопеременного нагружения, сведения об этом эффекте весьма ограничены. Поэтому представляет интерес исследовать влияние скорости деформации на этот эффект. Известны работы, в которых методом плоскотоволнового эксперимента делались попытки по зарегистрированному профилю волн нагрузки и разгрузки исследовать эффект Баушингера [4,5]. Однако в плоскотоволновых экспериментах в условиях одноосной деформации на этот эффект оказывают влияние как высокая скорость деформации ($\sim 10^5$ s $^{-1}$), так и большие величины давления (от нескольких гигапаскалей до десятков и сотен GPa).

Известны модификации метода Кольского, позволяющие в условиях одноосного напряженного состояния и при скоростях деформации $\sim 10^2$ – 10^4 s $^{-1}$ реализовать знакопеременное нагружение и, тем самым, изучать эффект Баушингера [6,7]. Следует заметить, что эти

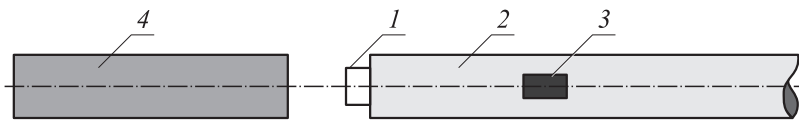


Рис. 1. Схема метода.

модификации достаточно сложны в реализации. В связи с этим задача поиска простых способов определения динамического эффекта Баушингера является актуальной. Данная работа как раз и посвящена разработке достаточно простого, но эффективного способа исследования этого эффекта.

Предлагаемый способ основан на методе прямого удара (direct impact) [8]. Схема этого метода изображена на рис. 1. Образец 1 исследуемого материала располагается на торце мерного стержня 2. В процессе эксперимента испытуемый образец нагружается ударом бойка 4, разогнанного в стволе газовой пушки. Скорость удара подбирается таким образом, чтобы образец деформировался в пластической области, а боек и мерный стержень с высоким пределом упругости (~ 2500 МПа) — в упругой. С помощью тензодатчиков 3, наклеенных на мерном стержне, регистрируется импульс сжатия, формируемый в процессе удара и характеризующий основные моменты высокоскоростного деформирования образца. Если обратиться к импульсу, зарегистрированному при испытании алюминиевого сплава Д16, то можно увидеть следующую картину (рис. 2). Передний фронт импульса имеет упругий участок OA , за которым следует участок пластического течения AB . После этого участка через время $\tau = 2l/C = 2 \cdot 300/5 = 120 \mu s$ ($l = 300$ мм — длина ударника, $C = 5$ мм/ μs — скорость звука в нем) начинается разгрузка образца (точка B). Отличительной особенностью этой разгрузки от обычно наблюдаемой в экспериментах с одноосным напряженным состоянием является ее двухволновая конфигурация. В начале от точки B до точки C наблюдается упругая разгрузка. Начиная с точки C имеет место пластическая волна разгрузки, длительность волны разгрузки BCD также равна $\tau = 2l/C$. Подобная картина наблюдается и в случае испытания других материалов.

Измеряя амплитуду в точке A импульса в мерном стержне, можно достаточно легко определить величину предела текучести испытуемого

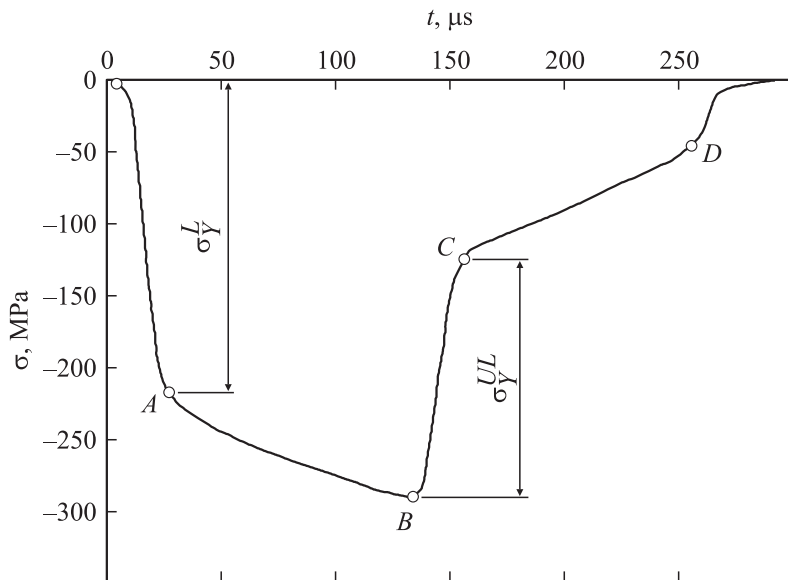


Рис. 2. Параметры зарегистрированного импульса.

образца при нагрузке σ_Y^L (рис. 2). С учетом соотношения площадей поперечных сечений мерного стержня и образца (2.1 : 1) это напряжение в образце из сплава Д16 составило 462 МПа. Это значение соответствует величине предела текучести указанного сплава, полученной в независимых испытаниях по методу Кольского и равной 470 МПа. На участке BCD при переходе от упругой разгрузки к пластической можно определить величину предела текучести при разгрузке $\sigma_Y^{UL} = 345$ МПа (с учетом соотношения площадей по разности амплитуд напряжений в точках B и C). Отношение предела текучести при разгрузке σ_Y^{UL} к пределу текучести при нагрузке σ_Y^L может служить мерой эффекта Баушингера $\delta = \sigma_Y^{UL} / \sigma_Y^L$.

Природа этого эффекта в испытаниях с одноосным напряженным состоянием может быть объяснена некоторыми переходными процессами, связанными с возникновением в процессе испытаний одноосной деформации. Как показали проведенные численные исследования [9], при наличии сил трения на торцах образца помимо осевого напряжения

в образце возникают и радиальные напряжения, т. е. тензор напряжений имеет кроме девиаторной составляющей еще и шаровую. Этот факт может быть причиной возникновения двухволновой разгрузки. Поскольку при этом величина давления невелика и составляет несколько сотен МПа, то ее влиянием на эффект Баушингера можно пренебречь. Значение меры эффекта для сплава Д16 при пластической деформации образца 6% составило $\delta = 0.75$. Таким образом, в подобных испытаниях эффект Баушингера легко определяется и появляется возможность исследования влияния скорости деформации на этот эффект.

Поисковая научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации ФЦП „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России“ на 2009–2013 годы и при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 08-08-00883а).

Список литературы

- [1] Москвитин В.В. Пластичность при переменных нагрузениях. М.: Изд-во Моск. ин-та, 1965. 262 с.
- [2] Sowerby R., Uko R., Tomita Y. // *Materials Science and Engineering*. 1979. V. 41 (1). P. 43–58.
- [3] Коротких Ю.Г., Крамарев Л.Н., Шнейдерович Р.М. Теория неизотермической пластичности и ползучести при переменных нагрузках, основанная на концепции комбинированного упрочнения. М.: Машиноведение, 1977. № 4.
- [4] Степанов Г.В. Упругопластическое деформирование и разрушение материалов при импульсном нагружении. Киев: Наук. думка, 1991. 288 с.
- [5] Новиков С.А., Пушков В.А., Сеницын В.А., Цой П.А. // ПМТФ. 1995. Т. 36. № 4. С. 163–169.
- [6] Ogawa K. // *Experimental Mechanics*. 1984. V. 24. N 2. P. 81–85.
- [7] Bragov A.M., Lomunov A.K. // *Int. J. Impact Engng*. 1995. V. 16. N 2. P. 321–330.
- [8] Dharan C.K.H., Hauser F.E. // *Experimental Mechanics*. 1970. V. 10. P. 370–376.
- [9] Константинов А.Ю. Экспериментально-расчетное исследование поведения конструкционных материалов под действием динамических нагрузок. Дис. . . канд. техн. наук. Нижний Новгород: Нижегородский ун-т, 2007. 144 с.