

УДК 539.374

ИЗМЕНЕНИЕ УПРУГИХ ПОСТОЯННЫХ МАТЕРИАЛА В РЕЗУЛЬТАТЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Д. С. ВИШНЕВСКИЙ
(Представлено: А. Г. ЩЕРБО)

В статье рассматриваются эффекты упруго-пластического деформирования, в результате которых изменяются модули упругости материала. Как следствие, изменяется и упругая составляющая полной деформации, определяющая, например, упругое ядро. При малых допусках на пластическую деформацию неучёт этих изменений приводит к существенным погрешностям как при определении размеров упругого ядра и его формы, так и при определении других параметров образа процесса при сложном нагружении.

Изменение упругих свойств отмечено в ряде работ, где констатируется уменьшение модулей упругости E и G в процессе упругопластического деформирования. Количественные же результаты этих работ значительно разнятся, что указывает, очевидно, на различие методик и возможные методические ошибки. Общей неточностью методики в указанных работах следует считать измерение изменённых в процессе упругопластического деформирования модулей упругости после полной разгрузки предварительно деформированного за предел упругости образца. При этом на пути разгрузки и последующего нагружения возникают наряду с упругими и пластические деформации, что существенно влияет на величину изменённых модулей упругости. Исправить указанные ошибки позволяет методика, представленная ниже.

Эксперименты проводились на установке, выполненной по типу «мёртвой нагрузки» [5], нагружение осуществлялось порционно грузами точного веса, деформации измерялись зеркальными тензорами Мартенса, образцы - цельнотянутые тонкостенные трубы. Модули упругости E и G до пластического деформирования определялись предварительно по общепринятой методике. Затем путем закручивания или растяжения образцам сообщалась пластическая деформация заданной величины. Далее их выдерживали под нагрузкой и вслед за этим из различных точек кривой разгрузки осуществляли замкнутые по напряжениям циклы нагружения, по результатам которых и определяли модули упругости. Для объяснения количественных расхождений результатов образцу сообщалась пластическая деформация сдвига 0,016. Потом выполнялись полная разгрузка и повторное нагружение до того же уровня напряжений. Если при этом учесть деформацию цикла, считая её упругой, окажется, что модуль G уменьшился на 40 %.(Рисунок 1)

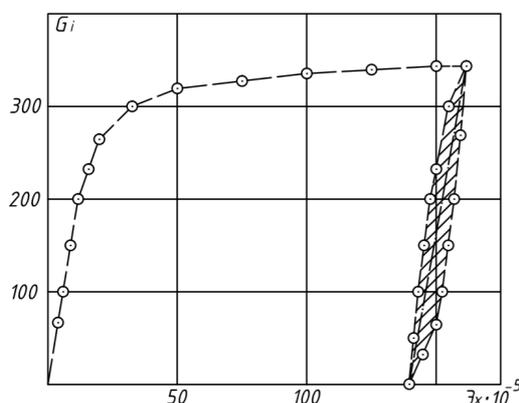


Рисунок 1. – Определение модуля упругости при полной разгрузке

Однако, как видно из рисунка 1, появляется петля гистерезиса, что свидетельствует, о наличии пластических деформаций в цикле разгрузка – нагрузка. Следовательно, непосредственное измерение модуля упругости в таком эксперименте содержит ошибку, т. к. полная деформация содержит пластическую составляющую. Следует добиться исчезновения петли гистерезиса путем циклического нагружения - разгрузки, а регистрируемые после этого деформации учитывать при определении модуля упругости. По предлагаемой методике образец был деформирован до величины 0,014 относительной деформации (рис.2). Уровень напряжений составил 240 МПа. Затем нагрузка была снижена до уровня напряжений 60 МПа и в диапазоне 60-140 МПа проведено 4 цикла нагрузки-разгрузки. В каждом цикле наблюдалось сужение петли гистерезиса и, наконец, слияние на четвертом цикле кривых нагрузки и разгрузки. Изме-

нение модуля G составило 6% по отношению к первоначальному. Указанная методика осуществлялась в диапазоне изменения напряжений 80 МПа на различных уровнях напряжений. Результаты оказались практически одинаковыми. При увеличении «размаха» изменения напряжений до 160 МПа «убрать» петлю гистерезиса полностью не удалось. Возможно, в данном случае сказываются временные эффекты, проявление которых отмечено в работе [5]. После вычета ширины петли из деформации этого диапазона уменьшение модуля составило 6,6% по отношению к первоначальному, т. е. такое же изменение, что и в диапазоне 80 МПа. (Рисунок 2)

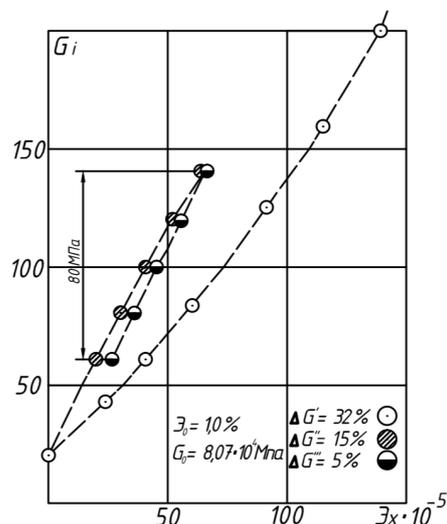


Рисунок 2. – Определение модуля упругости в упругом ядре

Для определения влияния величины предварительного пластического деформирования образцу сообщалась пластическая деформация 0,014. Изменение модуля G составило при этом 6,2%. Образец дополнительно деформировался до 0,0243. Уменьшение модуля составило еще 3,2%, т. е. общее уменьшение модуля 9,4% по отношению к первоначальному. Таким образом, наблюдается очевидная корреляция между величиной первоначальной деформации и величиной изменения модуля упругости.

Ряд экспериментов был посвящен влиянию деформации обратного знака на изменение модуля. Выяснилось, что после сообщения пластической деформации обратного знака модуль упругости G частично восстанавливался. Исследования по изменению модуля Юнга качественно подтвердили описанную выше картину, хотя его снижение было несколько меньшим. Так, после сообщения деформации растяжения 0,016 модуль E уменьшился на 5,7%. Представляет интерес и «скрестное» изменение модулей. При первоначальном сдвиге изменялись оба модуля упругости, аналогичная картина наблюдается и при первоначальном растяжении.

Таким образом, полученные результаты подтверждают факт изменения упругих постоянных в процессе упругопластического деформирования и уточняют методику определения изменений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильюшин А. А. «Пластичность. Основы общей математической теории». М.: Издательство АН СССР, 1963. – 271 с.
2. Ленский В. С. «Экспериментальная проверка основных постулатов общей теории упругопластических деформаций». – В кн.: Вопросы теории пластичности. М.: Издательство АН СССР, 1961. – С. 58-82.
3. Коровин И. М. «Экспериментальное определение зависимости напряжений – деформация при сложном нагружении по траектории с одной точкой излома». – Инж. ж., т.4, 1964, № 3. – С. 592–600.
4. Шишмарев О. А., Кузьмин Е.Я. «О зависимости упругих постоянных металла от пластических деформаций». Изв. АН СССР, ОТН. Механика и машиностроени. – 1961. – №3.
5. Щербо А. Г. «Экспериментальная проверка постулата изотропии для траектории нагружения с разгрузками». Прикладная механика. – 1990. – №1.
6. О.А. Shishmarev, A.G. Shcherbo «Variation of elastic constants of metal during plastic deformation» Arch. Mech., 42, 1, pp. 43-52, Warszawa 1990.