

Толстомятов С.Н., канд. физ.-мат. наук, доц.,
Голованова Е.В., канд. физ.-мат. наук, доц.
Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина

К ВОПРОСУ ЗАТУХАНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ТВЕРДОМ ТЕЛЕ

olga160@yandex.ru

Проводится обзор литературы, посвященной описанию процесса распространения и затухания высокочастотных (ультразвуковых) волн малой амплитуды в упруго пластическом теле. Показана возможность экспресс-оценки одномерного напряженно-деформированного состояния методом затухания ультразвука. Исследуется связь величины декремента затухания высокочастотных колебаний от текущих и остаточных деформаций в условиях одноосного напряженно-деформированного состояния.

Ключевые слова: ультразвук, затухание, напряженно-деформированное состояние, колебания, прочностные характеристики, пористость, дислокации.

Разработка методов контроля качества строительных материалов является важной составляющей как процесса их производства, так и при исследовании технического состояния сооружений в процессе эксплуатации. Кроме этого, использование новых строительных материалов с разнообразными добавками, новых технологий, особых режимов эксплуатации и реконструкции объясняет необходимость дальнейшего развития исследований свойств материалов при конечных деформациях. В настоящее время существует несколько методов определения напряженно-деформированного состояния строительных образцов: рентгеновский, тензометрический, фотоупругости, хрупких покрытий и др. Каждый из названных методов имеет свою специфическую область применения, однако для всех них имеется общий недостаток: измерения проводятся либо на поверхности, либо результаты можно получить только после разрушения образца. Без этого невозможно судить о состоянии во внутреннем объеме или об общем напряженно-деформированном состоянии детали или образца. Среди различных методов разрушающего и неразрушающего контроля перспективное место занимают ультразвуковые методы. Они позволяют находить однозначную связь между изменениями акустических свойств материала и внутренними превращениями, происходящими при нагружении. Эта связь служит физической причиной изменения механических характеристик материала [1, 2]. В основе ультразвукового метода лежат фундаментальные исследования об определяющих соотношениях деформируемых сред Л.И. Седова, Ю.Н. Работнова, А.А. Ильюшина [3].

Интерес к ультразвуковым методам объясняется рядом преимуществ:

1. Возможностью измерения не только поверхностных напряжений, но и напряжений в объеме материала;
2. Оперативностью измерений;
3. Безопасностью измерений.

Использование метода затухания высокочастотных колебаний при оценке прочностных характеристик строительных материалов в нашей стране не имеет пока государственных нормативных документов на их практическое применение. Одной из основных причин, объясняющих такое положение, является недостаточное теоретическое и экспериментальное обоснование возможностей применения этого метода для количественной оценки прочностных параметров контролируемых объектов, и как следствие, неоднозначность трактовки текущего напряженно-деформированного состояния. Достоверность результатов неразрушающего контроля прочностных параметров строительных изделий основывается только при комбинированном использовании теоретического и экспериментального методов исследований. Дальнейшее развитие метода затухания высокочастотных колебаний связано с исследованием связи декремента затухания с догрузочными напряжениями и остаточными деформациями.

Математическое моделирование затухания ультразвука в поликристаллическом твердом теле сводится, в основном, к рассмотрению рассеяния упругих волн различными частицами – включениями, поэтому среда предполагается упругой, но с различными включениями.

Очевидно, что пористость в строении твердых тел должна привести к увеличению измеряемого затухания ультразвука. Однако, провести количественную оценку влияния пор и других подобных дефектов на затухание ультразвука в материалах довольно сложно, поскольку этому вопросу посвящено мало научных публикаций. Теоретическое исследование затухания ультра-

звука в пористых материалах было выполнено одновременно с исследованием затухания ультразвука в упругоизотропной среде, содержащей включения, в работах. В работах Енга и Труэлла [4] рассматривается распространение продольных волн в упругоизотропной среде, с содержанием сферической поры с радиусом намного меньшим, чем длина волны ультразвука. В работе проведено более общее теоретическое рассмотрение рассеяния продольных волн сферической порой. Среда принималась также упругоизотропной, причем отношение длины волны к радиусу поры могло быть произвольным. В случае, когда длина волны в среде намного превышает радиус поры. В работе [4] приводится теоретическое исследование рассеяния поперечных волн сферической порой в упругоизотропной среде, при этом получен результат, практически совпадающий с результатом расчета для продольных волн. На основе исследований, проведенных ранее, авторы работы [4] провели численный расчет рассеяния ультразвука сферической порой в упругоизотропной неограниченной среде. Показано, что результаты существенно зависят от типа волн (продольные или поперечные). Поскольку в реальных материалах поры редко бывают сферическими и однородными по величине, то полученные теоретически формулы далеко не всегда применимы практически. Результаты экспериментальных исследований позволяют судить об увеличении затухания ультразвука в результате пористости: показано, что затухание при пористости порядка 1 % по объему возрастает более чем на порядок.

Затухание ультразвука может быть вызвано наличием в кристаллической решетке твердых тел дислокаций. основополагающий вклад в теорию затухания упругих колебаний вследствие наличия дислокаций связан с работами Келера, Гранато и Люкке [5]. Келером сделано предположение, что при упругих колебаниях дислокации колеблются подобно упругой струне в вязкой среде. При этом на колебания дислокаций оказывают влияние примесные атомы и другие дислокации, которые закрепляют колеблющиеся дислокации в определенных точках. Задача о затухании упругих колебаний вследствие колебаний дислокаций, закрепленных в отдельных точках, была решена методом последовательных приближений. В дальнейшем теория Келера была развита Гранато и Люкке работе [5], в которой она получила наибольшую известность. В соответствии с предложенной моделью затухание упругих колебаний при малых амплитудах не должно зависеть от величины амплитуды деформации. Теория Гранато-Люкке подтверждается многочисленными эксперимен-

тальными данными. В работах изложено исследование влияния на затухание упругих колебаний небольших пластических деформаций с последующим возвратом. Показано, что первые небольшие пластические деформации порядка 0,1–1 % приводят к резкому возрастанию коэффициента затухания ультразвука в отожженных металлах. Авторы объясняют это явление только увеличением плотности дислокаций или отрывом дислокаций от закрепляющих их точечных дефектов и образованием таким образом «свежих» дислокаций. В работе [5] показано, что при выдержке после деформации затухание упругих колебаний обычно снижается, что связывается с закреплением дислокаций точечными дефектами. В большинстве случаев кинетика снижения затухания после деформации с достаточным хорошим приближением подчиняется закону Коттрела-Билби, согласно которого количество точек закрепления, промигрировавших к дислокациям должно увеличиваться со временем пропорционально $t^{2/3}$, где t – время выдержки. В работах отмечается, что изменение коэффициента затухания ультразвука при возврате следует закону пропорциональности не $t^{2/3}$, а $t^{1/3}$. В случае больших предварительных деформаций экспериментальные данные [6, 7] не объясняются в рамках теории Гранато-Люкке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зуев Л.Б., Семухин Б.С., Бушмелева К.И. Изменение скорости ультразвука при пластической деформации Al // Журнал Технической физики. 2000. Т.70. №1. С. 52–56.
2. Способ ультразвукового контроля качества изделий: А.С. 1295326 СССР / И.Н. Каневский, В.Н. Казимиров, М.И. Сластен. - №3947830/25 - 28; заявл.02.09.85; опубл.07.03.87. Бюл. № 9 – 3с.
3. Ильюшин А.А. Пластичность. Основы общей математической теории. М.: Изд. АН СССР, 1963. 271 с.
4. Труэлл Р., Элбаум Ч., Хиката А. Ультразвуковые методы исследования пластической деформации // Сб. Физическая акустика под ред У. Мэзона, Т.3, Ч. А. Влияние дефектов на свойства твердых тел. М., «Мир». 1969. С. 234–262.
5. Granato A., Hikata A., Lücke K. Recovery of Damping and Modplu Changes Following Plastic Deformation // Acta Metallurgica. 1958. 7. P 480–489.
6. Толстомятов С.Н. Зависимость затухания ультразвука от одноосного напряженно-деформированного состояния образца // Энергомашиностроение. 1988. №2. С.27–28.
7. Буренин Л.А., Дудко О.В., Манцыбора Л.Л. О распространении обратимых деформаций

по среде с накопленными необратимыми деформациями // Прикладная механика и техн. физика. 2002. №5. С. 162–170.

Tolstopyatov S.N., Golovanova E.V.

THE HIGH-FREQUENCY OSCILLATION DAMPING IN A POLYCRYSTALLINE SOLID BODY

A literature survey is presented, dealing with the spreading and fading of high-frequency ultrawaves of small amplitude in an elastic body. It is shown that express-esteem of one-dimensional tense-deformed state by ultrasound is possible. The relationship between the fading decrement and both current and residual deformations in one-axis tense-deformed state/

Key words: *ultrasound, fading, tense deformation, oscillations, strength, characteristics, porosity, dislocations.*

Толстопятов Сергей Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: olga160@yandex.ru

Голованова Елена Васильевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математики и физики.

Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина

Адрес: Россия, 308503, п. Майский, ул. Вавилова, д. 1.

E-mail: golovanova711@mail.ru