

ХАРАКТЕРИСТИКИ УПРУГИХ ВОЛН В ОБЛАСТИ ГРАНИЦЫ КОНСОЛИДИРОВАННОЙ СРЕДЫ

© 2024 г. **К. Е. Аббакумов^{1*}, А. Бунаков^{1**}, Ирина Геннадьевна Сидоренко^{1***}**
¹ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина), (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), 197022, Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, д. 5, лит. Ф
* - keabbakumov@etu.ru; ** - anton_bunakov@mail.ru; *** - igsidorenko@etu.ru

Широкое внедрение ультразвуковых методов контроля в практику промышленных технических измерений существенно расширило представления исследователей о характере и свойствах обнаруживаемых в материалах и изделиях несплошностей. Это положительно сказывается на результатах анализа акустических трактов ультразвуковых приборов с внедренными в них моделями несплошностей естественного металлургического происхождения [1]. При этом важным оказывается учет состояния вещества несплошности, изменяющегося при температурной и деформационной обработке при технологическом переделе. Так, применительно к медным материалам, получаемым по технологии двойного вакуумного переплава, удалось установить существенные различия в свойствах графитовых включений в зависимости от степени раздробленности заполняющего вещества. Были подтверждены полученные ранее экспериментальные результаты, связанные с рациональным выбором параметров (в частности частоты ультразвука) контроля [2].

Применительно к задачам технических приложений ультразвуковых измерений к наиболее разработанным можно отнести модели разнообразных геоматериалов [3-8]. Известно, в частности, что почти все осадочные материалы и некоторые породы состоят из минеральных частиц несферической формы, соприкасающихся друг с другом при различной степени сцементированности. Ослабление, поглощение упругих волн в таких материалах происходит в основном посредством двух механизмов: 1) потери в матрице; 2) потери при взаимодействии включений с твердой фазой. Затухание в матрице может быть обусловлено внутренней неупругостью кристаллических зерен и контактным трением на границах соприкасающихся зерен и трещин. Внутренняя неупругость очень мала [3], и ей обычно пренебрегают. Наибольшее внимание уделяется исследованию поглощения за счет трения [3]. При контроле изделий энергомашиностроения представляет интерес оценка интервала вариации акустических характеристик шлаковых включений, заполняющих внутренние полости расслоений. По отношению к монолитному строению шлаков их данные известны [9]. В [3] показано, что учет раздробленного состояния вещества включений зернистой среды может носить резонансный характер, учитывая также наличие контактной жесткости зерен и вязкое трение в прилегающих слоях. Согласно теории

Герца-Миндлина-Дигби [3, 4] упругие константы зернистых сред зависят главным образом от контактов между выпуклыми поверхностями зерен, а контакты могут аппроксимироваться круговыми поверхностями определенного радиуса. Предполагалось, что при внешнем воздействии зерна в прилегающих друг к другу слоях сближаются, деформация происходит только в зоне контакта, причем рассматриваются только силы, действующие по нормали к сферическим поверхностям в точках контакта. При выводе аналитических соотношений для эффективных скоростей продольных и поперечных волн и их коэффициентов затухания учитывались такие параметры, как нормальная жесткость D_n в контактах между зёрнами, Q – добротность образующихся колебательных систем, закон распределения зерен по размерам в заданном диапазоне от Γ_{\max} до Γ_{\min} , потери в контактной области и частота ультразвука. С учетом введенных приближений в явном виде получены выражения для фазовых скоростей эффективных продольной и поперечной волн в консолидированной среде – шлаке, которые были проанализированы на основании численных оценок. Приведено решение дисперсионного уравнения для определения фазовой скорости эффективной поверхностной волны. Данные вычислений проанализированы для актуальных значений параметров модели несплошности. Результаты работы представляют интерес при поиске оптимальных режимов контроля изделий энергомашиностроения, содержащих несплошности (расслоения) соответствующих типов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешин Н.П., Бобров В.Т., Ланге Ю.В., Щербинский В.Г. Ультразвуковой контроль: учеб. пособие / под. общ. ред. В.В. Клюева. М.: Издательский дом «Спектр», 2011. 224 с.
2. Аббакумов К.Е., Вагин А.В., Сидоренко И.Г. Акустические характеристики графитовых включений в листах из медного сплава, полученного по технологии двойного вакуумного переплава // Сборник статей 8-й Международной научно-технической конференции «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов», Могилев, 29-30 сентября, 2022. Изд-во Белорус.- Рос. ун-та, 2022. С. 11-16.
3. Быков В.Г. Поглощение упругих волн в тонком слое зернистой среды // Акустический журнал. 1997. Т. 45, № 3. С. 323-327.
4. Johnson D.H., Toksoz M. N., Timur A. Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks // Geophysics. 1979. V. 44, № 4. P. 691-711.
5. Био М. А. Обобщенная теория распространения акустических волн в диссипативных пористых средах // Механика. 1963. № 6. С.135-155.
6. Быков В.Г., Николаевский В.Н. Сейсмические волны в насыщенных пористых геоматериалах с вязкоупругой матрицей // Докл. АН. 1992. Т. 323, № 3. С. 446-451.
7. Кобелев Ю. А. К вопросу о поглощении звуковых волн в тонком слое // Акустический журнал. Т. 33, № 3. С. 507-509.
8. Файзулин И.С., Шапиро С.А. О затухании упругих волн в горных породах, связанном с рассеянием на дискретных неоднородностях // Докл. АН СССР. 1987. Т. 295, № 2. С.341-344.
9. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении / 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Издательство «СВЕН», 2007. – 296 с.