

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УПРУГОЙ ВОЛНЫ С ПАРАМЕТРАМИ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ С АЛМАЗНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Ю.Г.БЕЗЫМЯННЫЙ<sup>1</sup>, А.Н.ВЫСОЦКИЙ<sup>1</sup>, Т.И.ИСТОМИНА<sup>1</sup>,  
А.Н.КОЛЕСНИКОВ<sup>1</sup>, Н.ИВАНЮК<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт проблем материаловедения имени И.Н.Францевича НАН Украины,  
ул. Кржижановского, 3, Киев, 03142, Украина.*

<sup>2</sup>*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»*

Исследовано влияние состава и структуры алмазных композитов с металлической матрицей, а также технологических параметров спекания на скорость распространения упругой волны.

### ВВЕДЕНИЕ

В металлургии на основе металлических порошков создают композиты с самыми различными свойствами. Композиционные материалы с металлической матрицей и алмазными наполнителями, получаемые методом электроразрядного спекания [1], широко используются как антифрикционные и инструментальные материалы [2]. Свойства таких материалов имеют больший, по сравнению с традиционными материалами, разброс вследствие разнообразия исходных составляющих, возможных вариаций технологических режимов при изготовлении и сложности структуры. Поэтому возникает необходимость постоянного контроля свойств этих материалов в процессе их эксплуатации. Перспективными в этом плане являются структурно-чувствительные методы неразрушающего контроля, базирующиеся на измерении акустических характеристик материала, например, скорости распространения упругой волны [3,4].

### 1. АНАЛИЗ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы, изготовленные с использованием алмазных порошков, представляют собой гетерогенные системы, которые имеют многоярусную иерархическую структуру и разнообразие пространственного распределения включений и пор. Распределение включений, в связи с несовершенством технологического оборудования, не всегда однородно по объему. Дефекты в виде отклонения структуры от нормы могут присутствовать на разных иерархических уровнях в любом структурном элементе материала.

Рассмотрение алмазных композитов как акустической среды требует анализа её характеристик упругости, инерции, внутреннего трения с учётом неоднородности среды, волновых размеров и волновых сопротивлений структурных элементов материала [5].

Наиболее значимыми структурными элементами исследуемого материала, от которых зависят его эксплуатационные свойства, являются формирующие его матрицу металлические спеченные порошки и распределенные по объему матрицы, и спеченные с ней алмазные включения. Дефектом матрицы можно считать наличие пор, вследствие чего нет полноты контакта поверхностей частиц алмаза и матрицы.

Свойства такого материала будут определяться особенностями его строения на мезоуровне. В таком материале эффективное значение скорости распространения для любой упругой волны будет определяться физико-механическими характеристиками исходных фаз, объёмным содержанием включений и пор и степенью консолидации твёрдых фаз. Аналитически это можно записать как функциональную зависимость:

$$C_{эф} = C(C_1, C_2, C_3, \theta, k, A) \quad (1)$$

где  $C_1$  – скорость распространения упругой волны в матрице,  $C_2$  – скорость распространения упругой волны во включении,  $C_3$  – скорость распространения упругой волны в поре,  $\theta$  – пористость,  $k$  – концентрация алмазного включения,  $A$  – коэффициент, учитывающий качество контактов между отдельными элементами мезоструктуры.

Связь эффективной скорости распространения упругой волны с характеристиками упругости в исследуемом материале можно определить выражением [6]:

$$C_{эф} = \sqrt{\frac{E_{эф}}{\rho_{эф}} \cdot \frac{1 - \mu_{эф}}{(1 + \mu_{эф}) \cdot (1 - 2 \cdot \mu_{эф})}}, \quad (2)$$

где  $E_{эф}$  – эффективный модуль упругости исследуемого объекта;  $\mu_{эф}$  — эффективный коэффициент Пуассона исследуемого объекта;  $\rho_{эф}$  – эффективная плотность исследуемого объекта.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования были изготовленные в ИПМ НАН Украины образцы в форме параллелепипеда размером 20x5x6 мм, на металлической связке, % мас. 80 Cu-12 Zn-8 Sn, содержащие алмаз, % об.: 6. Размер частиц порошка составлял 40–500 нм.

Измерение скорости распространения упругой волны проводилось методом радиоимпульса с дискретной задержкой [7] при использовании ударного возбуждения [3] на частоте 5 МГц со сквозным прозвучиванием исследуемого объекта по толщине. При этом скорость распространения упругой волны определялась по времени распространения упругого импульса в исследуемом образце с учётом систематической погрешности.

Для измерений времени распространения упругой волны использовался аппаратный комплекс для прецизионных акустических измерений, разработанный в ИПМ НАН Украины. Структурная схема этого комплекса приведена в работе [5]. Реализация метода измерения времени распространения упругой волны на этом комплексе производилась в соответствии со структурной схемой (рис. 1) следующим образом. Исследуемый образец в измерительной камере 3 устанавливался с помощью специального прижимного устройства между излучающим и приёмным пьезопреобразователями. Для обеспечения акустического контакта использовались тонкие прокладки. По команде измерителя временных интервалов 4 с помощью генератора 1 через усилитель 2 на излучающий пьезопреобразователь подавалась периодическая последовательность электрических прямоугольных импульсов, возбуждающая на его выходе периодическую последовательность механических радиоимпульсов с частотой заполнения 5 МГц, соответствующей рабочей частоте пьезопреобразователя. Этот сигнал проходил через контактный слой, исследуемый образец, второй контактный слой, принимался приёмным пьезопреобразователем, преобразовывался в нём в электрический сигнал и через усилитель 6 поступал на измеритель временных интервалов 4, где, с учётом фазы сигнала, измерялось время  $t_n$

задержки между моментом запуска генератора и приходом сигнала на вход измерителя 4. Для компенсации систематической погрешности измерения  $t_n$ , обусловленной временем прохождения сигнала вне исследуемого образца, проводились аналогичные измерения при отсутствии образца между пьезопреобразователями. Толщина образца  $h$  измерялась микрометром. Скорость распространения упругой волны определялась по формуле:

$$C = \frac{h}{t_u - t_n} \quad (3)$$

Для описанной методики погрешность определения скорости распространения упругой волны в исследуемых образцах составляла не более 0,5 %.

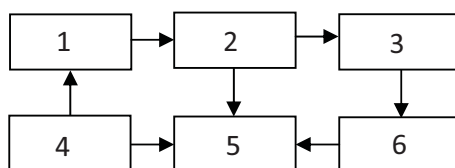


Рис.1. Структурная схема измерений времени распространения упругой волны, где 1 – генератор импульсов; 2 – усилитель; 3 – измерительная камера; 4 – измеритель временных интервалов; 5 – осциллограф; 6 – усилитель.

В результате измерений были получены зависимости скорости распространения упругой волны в композиционных материалах с металлической матрицей и алмазными наполнителями от различных технологических параметров:

- давления подпрессовки (рис.2.);
- частоты тока спекания (рис. 3.).

Характер этих зависимостей указывает на уменьшение скорости распространения упругой волны в композитах с возрастанием каждого из приведенных технологических параметров, что можно объяснить, согласно (2), увеличением плотности композита при неизменном значении модуля упругости.

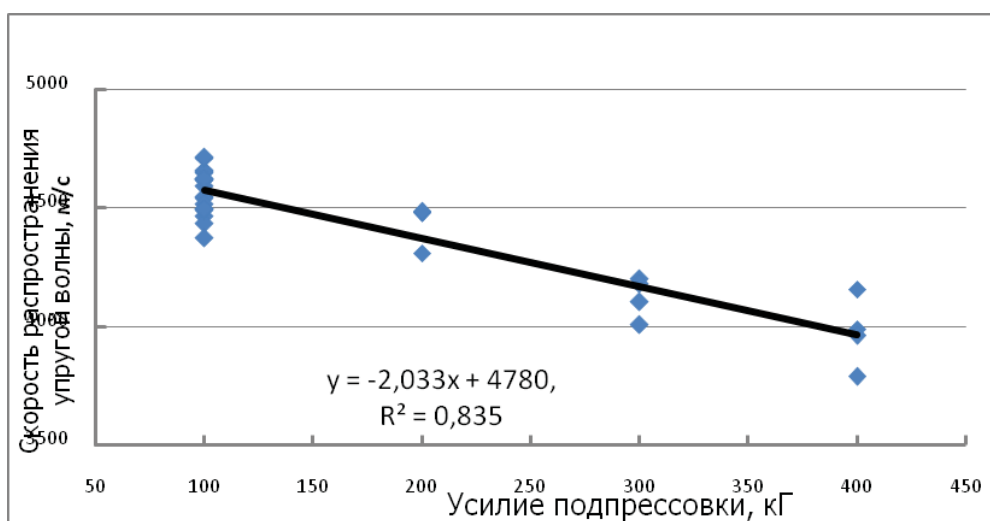


Рис.2. Зависимость скорости распространения упругой волны от величины давления подпрессовки.

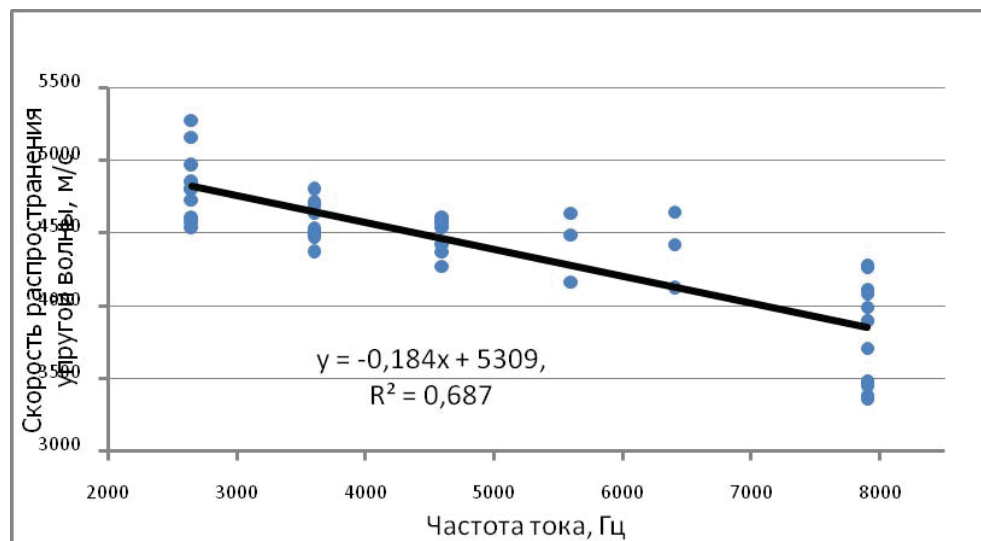


Рис.3. Зависимость скорости распространения упругой волны от частоты тока спекания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, удалось установить зависимость между скоростью распространения упругой волны композита на основе металлических порошков с алмазными включениями, и технологическими параметрами (давлением подпрессовки и частотой тока спекания). Полученные зависимости показывают, что с ростом величины как давления подпрессовки, так и частоты тока спекания, уменьшается скорость распространения упругой волны вследствие увеличения плотности композита на основе металлических порошков с алмазными включениями, при неизменном значении модуля упругости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Райченко А.И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока. -М.: Металлургия, 1987.-128с.
2. Abstracts of International conference “Advanced materials'99”. – Kyiv. – 1999. – 366 p.
3. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: (Справ.). В 2-х кн. – Т. 1 / Под ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1986. – 488 с.
4. Безымянный Ю. Г. Особенности использования акустических методов при контроле качества слоистых материалов // Порошковая металлургия. – 1999. - № 5-6, С. 24-29.
5. Безымянный Ю.Г. Возможности акустических методов при контроле структуры и физико-механических свойств порошковых материалов.// Порошковая металлургия .- 2001.- №5-6. - С.23-33.
6. Безымянный Ю. Г. Использование акустических характеристик для контроля структуры пористых материалов // Электронная микроскопия и прочность материалов: – Киев: Ин-т проблем материаловедения НАН Украины, 1999. – С. 93-105.
7. Р.Труэлл, Ч.Эльбаум, Б.Чик: Ультразвуковые методы в физике твёрдого тела, М.: Мир, 1972.- 308 с.