

Ю.Г. БЕЗЫМЯННЫЙ, д-р техн. наук. ИПМ им. И.М. Францевича НАН Украины, Київ

Г.А. БОГДАН, аспирант, НТУУ «КПІ», Київ

И.Г. ЕВКО, соискатель, НТУУ «КПІ», Київ

Н.А. ИВАНЮК, аспирант, НТУУ «КПІ», Київ

Е.А. КОЗИРАЦКИЙ, соискатель, ИПМ им. И.М. Францевича НАН Украины, Київ

КОНТРОЛЬ НЕОДНОРОДНОСТИ СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Робота присвячена дослідженню за допомогою вимірювання швидкості поширення пружної хвилі нерівномірності розподілу властивостей у зразках порошкових матеріалів, одержуваних з різних по складу порошоків, за різними технологіями і які мають різні комплекси фізико-механічних властивостей.

The present paper is devoted to investigations of inhomogeneity in distribution of properties of powder material samples that were produced from different powder compositions, by different technologies and possess different complexes physical and chemical properties. The investigations have been performed by measuring velocities of elastic wave propagation.

Введение. Цель порошковой металлургии – синтез материалов с наперед заданными физико-механическими свойствами [1,2]. Теоретическая оценка физических и механических свойств разрабатываемого материала при заданных свойствах исходных порошков возможна далеко не всегда [3]. Для порошковой металлургии характерны разброс свойств изделий в пределах одной партии, неидентичность свойств образцов и реальных изделий, значительно отличающихся по форме и размерам [4]. В результате особенностей технологических процессов и несовершенства технологического оборудования возможен разброс свойств порошкового материала по объёму [5]. Поэтому возникает необходимость получения реальных значений свойств и их разброса для каждого образца материала посредством неразрушающих методов [4]. Перспективными для решения этой задачи являются структурночувствительные акустические методы неразрушающего контроля [6]. Принципы использования акустических методов для оценки неоднородности свойств порошковых материалов изложены в работе [7]. Представляет практический интерес разработка и проверка возможностей методик такого контроля для отработки конкретных технологий создания реальных порошковых материалов.

Постановка задачи. Порошковые материалы – это гетерогенные системы, компоненты которых (частицы) отличаются физическими

свойствами, размерами, формой, дисперсностью и т.д. Формирование структуры и свойств порошкового материала проходит поэтапно путём определённых комбинаций прессования и температурной обработки распределённых по объёму пресс-формы порошков. При этом протекают два основных процесса: компактирование и консолидация частиц. Параллельно могут возникать химические превращения и взаимодействия. Среди факторов, влияющих на однородность свойств в объёме материала: неидеальность поверхности частиц, степень равномерности их распределения по объёму, степень равномерности распределения силовых и температурных полей. Комбинация этих факторов носит случайный характер и определяет степень однородности распределения свойств по объёму материала и разброс свойств между партиями образцов.

Задачей настоящей работы является исследование возможности оценки по результатам измерений скорости распространения (СР) упругой волны (УВ) неоднородности свойств в объёме образцов, степени повторяемости свойств между образцами одной и различных партий порошковых материалов, отличающихся свойствами исходных порошков, технологией изготовления, формой и размерами образцов.

Объект исследования: Объектами исследования были изготовленные в ИПМ НАНУ образцы четырёх видов, отличающиеся фазовым составом и размерами частиц исходного порошка, технологией получения и целевым назначением материала, формой и размерами образцов. Характеристики образцов для исследований приведены в таблице, внешний вид – на рис.1. Направление прессования совпадает с направлением 1. Образцы 3 и 4 сразу после указанного технологического процесса получали в приведенном виде. Образцы 1 и 2 после указанного технологического процесса получали сначала в виде технологических заготовок (рис.2), из которых вырезали образцы для исследований. Для устранения приповерхностных дефектов после резки образцы шлифовали.

Таблица Характеристики образцов для исследований

№ п/п	*	Размеры, мм			Технология получения	Фазовый состав	Размеры частиц, мкм	Назначение материала
		<i>l</i>	<i>a</i>	<i>h</i>				
1	a	20-25	3-5	3-5	горячее имп. прессование	WC-20Co	< 5	Высокомодульный
2	a	20-25	3-5	3-5	"-	Cu-30Cr	10-25	Электроконтакты
3	a	43	6,3-6,7	6,3-6,8	холодное прессование	Cu-20W Cu-50W	15-100	Специальный
4	б	-	30	14; 18,5	"-	Fe	<160	Модельный

* – позиция на рис.1.

Экспериментальные исследования. СР УВ C определяли по времени сквозного прохождения упругого импульса через исследуемый образец. Прозвучивание образцов проводили в двух направлениях. При этом озвучивали различные зоны материала образца. Радиус зоны прозвучивания определяется шириной диаграммы направленности излучающего и приёмного преобразователей. Схемы прозвучивания образцов показаны на рис.1. Стрелками отмечены направления и места приложения оси излучающего преобразователя. Измерение времени прохождения проводили на частоте 5 МГц методом радиоимпульса с дискретной задержкой [8]. Структурная схема измерений показана на рис.3. Её работа описана в [9].

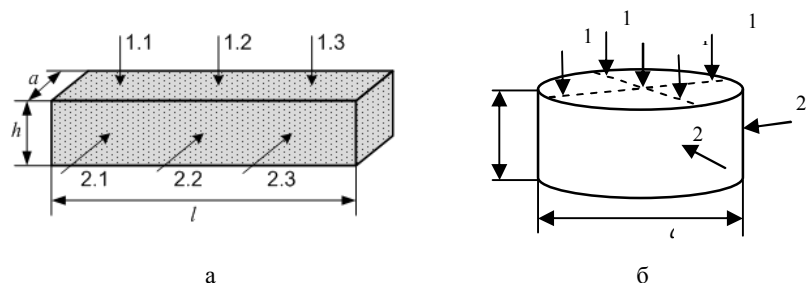


Рис. 1. Образцы для исследований, направления и зоны их прозвучивания.

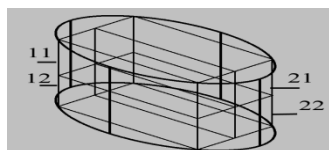


Рис. 2. Схема расположения образцов в технологической заготовке.

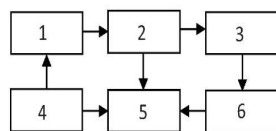


Рис. 3. Структурная схема измерений:
1 – генератор импульсов; 2 и 6 – усилитель;
3 – акустическая измерительная камера;
4 – измеритель временных интервалов;
5 – двухканальный осциллограф.

Скорость распространения упругой волны определяли по формуле:

$$C = \frac{h}{t_{изм} - t_0},$$

где $t_{изм}$ – измеряемое время; t_0 – систематическая погрешность измерений.

Погрешность определения СР УВ в исследуемых образцах не превышала 0,5%.

На рис.4 приведены результаты определения СР УВ в различных направлениях и для разных зон прозвучивания одного образца: № 1, 2, 3 или 4.

На рис.5 приведены результаты определения СР УВ для зоны 2 в различных направлениях прозвучивания образцов № 1 и 2, вырезанных из разных участков технологической заготовки.

На рис.6 приведены результаты определения СР УВ для зоны 2 в различных направлениях прозвучивания образцов № 1 и 2, вырезанных из разных участков технологической заготовки и изготовленных в разных плавках при одинаковых технологических режимах.

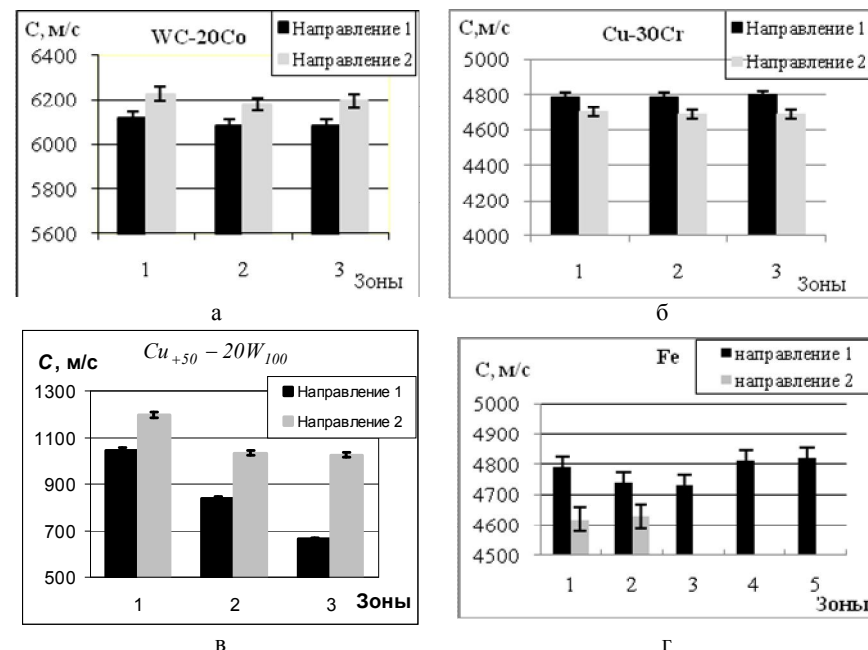


Рис. 4. Распределение скорости распространения упругой волны по зонам образца для разных направлений прозвучивания: а – №1; б – №2; в – №3 и г – №4.

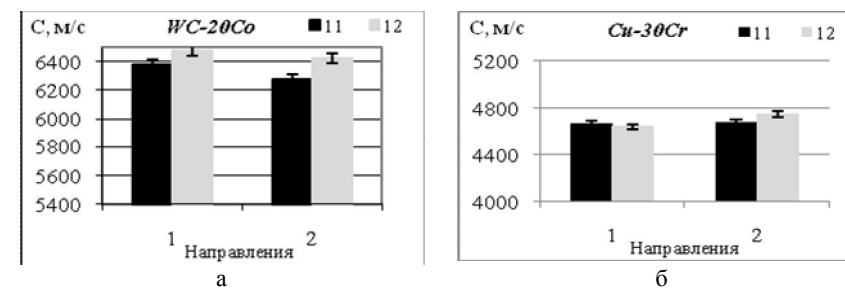


Рис. 5. Распределение скорости распространения упругой волны по направлениям прозвучивания в зоне 2 образцов № 1 и 2, вырезанных из разных участков (11 и 12) технологической заготовки.

На рис.7 приведены результаты определения СР УВ в различных направлениях и для разных зон прозвучивания образцов № 4 из одной партии одинаковых и разных размеров.

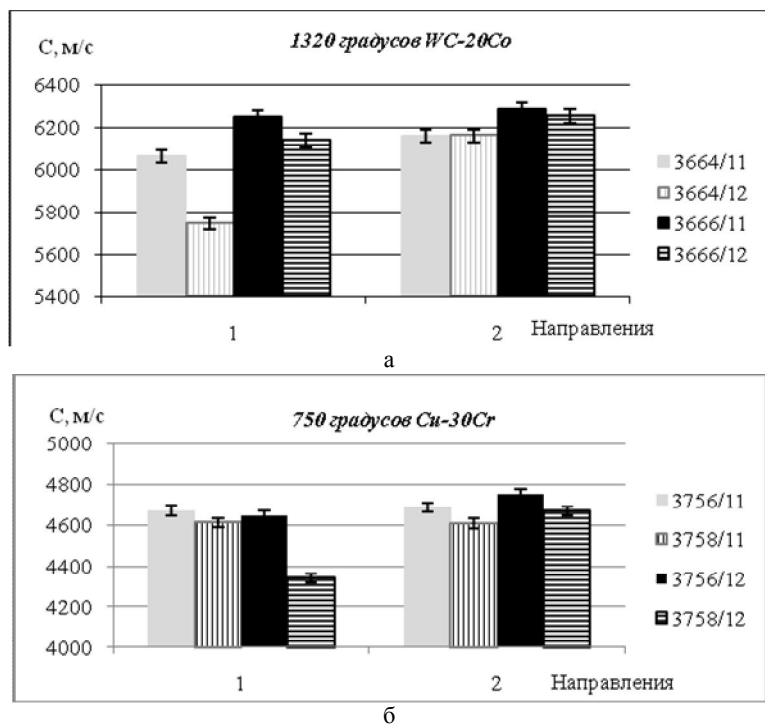


Рис. 6. Распределение скорости распространения упругой волны по направлениям прозвучивания в зоне 2 образцов № 1 и 2, вырезанных из разных участков (11 и 12) технологической заготовки и изготовленных в разных плавках (а – 3664 и 3666, б – 3756 и 3758) при одинаковых технологических режимах.

На рис.8 приведены результаты определения СР УВ в различных направлениях и для разных зон прозвучивания образца № 3 при варьировании массового содержания фаз в исходных порошках.

На рис.9 приведены результаты определения СР УВ в различных направлениях и для разных зон прозвучивания образца № 3 при варьировании соотношения размеров фаз в исходных порошках.

Анализ результатов. Из рис.4 видно, что для материалов, получаемых по технологии горячего импульсного прессования, разброс значений СР УВ в направлении, перпендикулярном направлению прессования, измеренных на одном образце для одного направления прозвучивания в различных зонах,

находится в пределах погрешности измерений, тогда как для технологии холодного прессования этот разброс значительно превышает погрешность измерений и доходит до 20 % при прозвучивании в направлении прессования и 10 – в перпендикулярном. У всех образцов установлена анизотропия свойств, величина которой для каждого материала отличается.

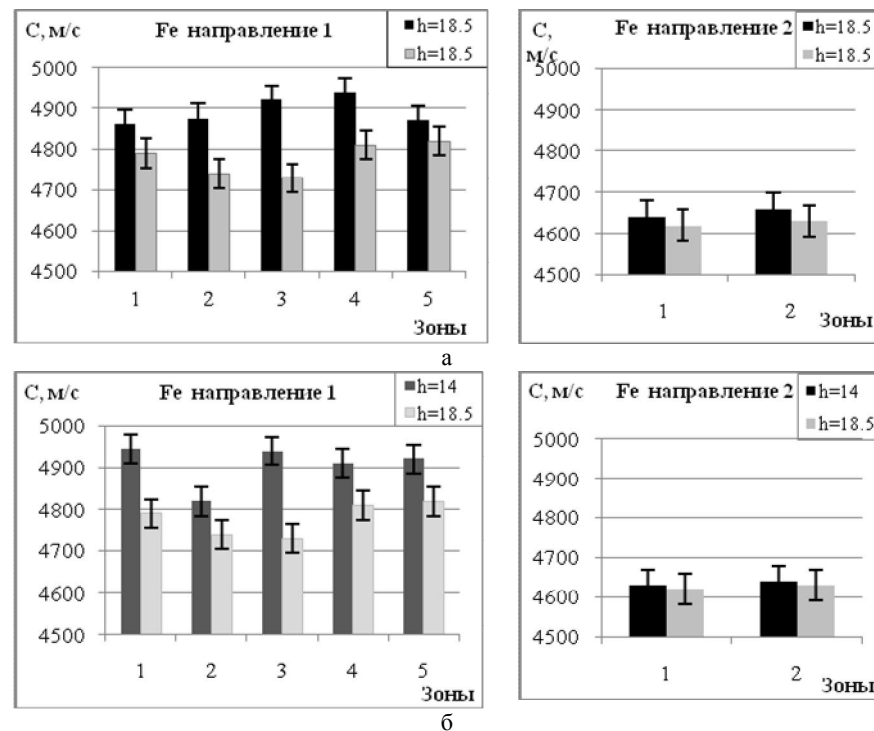


Рис.7. Распределение скорости распространения упругой волны по направлениям и зонам прозвучивания образцов № 4, изготовленных в одной партии при одинаковых технологических режимах, если размеры образцов: а – одинаковые; б – разные.

Из рис.5 видно, что для материалов Cu-30Cr разброс значений СР УВ в направлении прессования по оси симметрии технологической заготовки, измеренный при прозвучивании вдоль оси прессования остаётся в пределах погрешности измерений и становится соизмеримым с ней при прозвучивании в направлении, перпендикулярном прессованию. Для WC-20Co этот разброс превышает погрешность измерений и доходит до 4 % при прозвучивании в направлении прессования и 5 – в перпендикулярном. Анизотропия свойств материалов сохраняется. Меньший разброс значений СР УВ в Cu-30Cr по сравнению с WC-20Co, очевидно, связан с более мягкой матрицей материала.

Из рис.6 видно, что для обоих материалов, получаемых по технологии горячего импульсного прессования, разброс значений СР УВ в направлении прессования по оси симметрии технологической заготовки для различных плавок увеличивается на несколько процентов. Кроме того, при прозвучивании в направлении прессования возможно появления значений с уменьшением значений СР УВ до 10 %. Последнее, очевидно, связано с появлением дефектных образцов с повышенной пористостью.

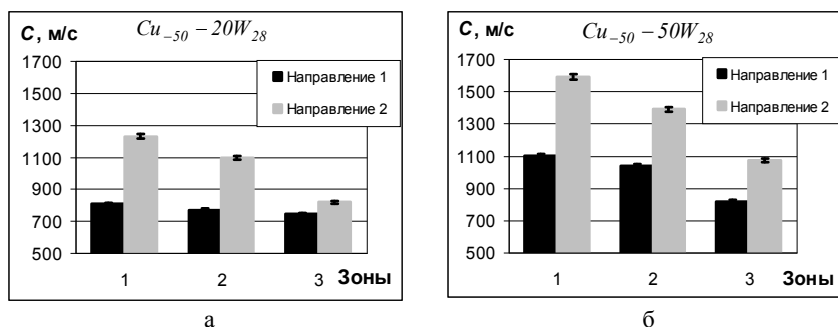


Рис. 8. Распределение скорости распространения упругой волны по зонам для разных направлений прозвучивания образца № 3 в зависимости от содержания добавки: а – 20, б – 50 м.ч. W.

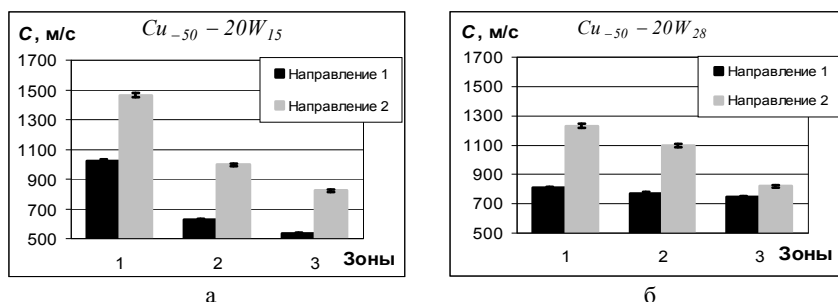


Рис. 9. Распределение скорости распространения упругой волны по зонам для разных направлений прозвучивания образца № 3 в зависимости от размеров частиц W: а – 15, б – 28 мкм.

Из рис. 7 видно, что для материалов, получаемых по технологии холодного прессования, разброс значений СР УВ для различных образцов также увеличивается. При этом образцы большего размера имеют меньший разброс значений между собой.

Из рис. 8 и 9 видно, что для материалов, получаемых по технологии холодного прессования, разброс значений СР УВ существенно зависит от содержания фаз и соотношения размеров частиц.

Чувствительность СР УВ к изменениям в исследуемых материалах в рассматриваемых случаях можно объяснить следующим. В результате особенностей исследуемых технологических процессов в материалах формировалась неоднородная (статистически однородная) структура. Поэтому, измеряемое в процессе эксперимента эффективное значение СР УВ, по аналогии с двухфазным материалом [10], является функцией свойств матрицы, добавочных компонентов, качества контактов между ними, остаточной пористости и результатов химического взаимодействия между компонентами, а так же других случайных факторов. Что и показано экспериментально.

Выводы. Установлено, что значение скорости распространения упругой волны в объёме изделия из порошкового материала неодинаковы и зависят от зоны и направления прозвучивания, различно ориентированных относительно направления прессования, свойств и комбинаций исходных порошков, особенностей технологического процесса. Разброс этих значений увеличивается для различных изделий и партий изделий.

Физическая связь скорости распространения упругой волны с другими свойствами материала (как минимум, плотностью, характеристиками упругости и дефектностью) позволяет предположить, что разброс скорости распространения упругой волны может быть мерой неоднородности свойств получаемых материалов и качества технологического процесса.

Дальнейшее направление исследований может быть связано с использованием для подобных оценок других структурночувствительных акустических характеристик материала, например, затухания упругой волны.

Список литературы: 1. Бальшин М. Ю. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. – М.: Металлургия, 1972. – 336 с. 2. Сучасне матеріалознавство ХХІ сторіччя. / Відп. ред. І.К.Походня. - Київ: Наук. думка, 1998. С. 447-472. 3. Скороход В.В. Теория физических свойств пористых и композиционных материалов и принципы управления их микроструктурой в технологических процессах // Порошковая металлургия. – 1995. – № 1/2. – С.53-70. 4. Роман О.В., Скороход В.В., Фридман Г.Р. Ультразвуковой и резистометрический контроль в порошковой металлургии. – Мн.: Высш. шк., 1989. – 182 с. 5. Федорченко И.М., Андриевский Р.А. Основы порошковой металлургии. – К.: АН УССР, 1963. – 420 с. 6. Безмяянный Ю.Г. Возможности акустических методов при контроле структуры и физико-механических свойств пористых материалов // Порошковая металлургия. – 2001. – № 5-6. – С.23-33. 7. Безмяянный Ю.Г. Акустическое отображение материалов, изготавливаемых методами порошковой металлургии. // Акустичний вісник. – т.9. № 2. – 2006. – С.3-16. 8. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. – М.: Мир, 1972. – 302 с. 9. Безмяянный Ю.Г., Сліфанцева Т.О., Козирацький С.О. Дослідження впливу структури композита на основі мідного порошку із вольфрамовими вкрапленнями на швидкість поширення пружної хвилі. // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". 36.наук.праць. Тематичний випуск "Електроенергетика і преобразовательная техника". – Харків: НТУ "ХПІ" – № 12. – 2010. С. 148-155. 10. Безмяянный Ю. Г. Использование акустических характеристик для контроля структуры пористых материалов // Электронная микроскопия и прочность материалов. – К. – 1999. – С. 93-105.

Поступила в редколлегию 20.05.11