

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ОТРАБОТКЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ ПРЕССОВОК

Ю.Г.БЕЗЫМЯННЫЙ, Т.А.ЕПИФАНЦЕВА, Е.А.КОЗИРАЦКИЙ, Л.О.ТЕСЛЕНКО

*Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАНУ
ул. Кржижановского, 3, Киев, 03142, Украина.*

В работе показано, что по результатам акустических измерений можно проводить оптимизацию состава и свойств исходных порошков медно-вольфрамового композита, получаемого путём холодного прессования. Для этого проводили измерение скорости распространения упругой волны в призматических образцах этого композита при разных размерах частиц и соотношениях фаз. По результатам измерений определен модуль упругости. Построены зависимости модуля упругости и скорости распространения упругой волны от размера вольфрамовых включений для разных соотношений фаз и разных размеров частиц. Полученные зависимости отображают влияние структурных особенностей пористого композита на скорость распространения упругой волны и модуль упругости. Для всех смесей выявлена геометрическая дисперсия, обусловленная размерами частиц и достигающая экстремальных значений при определённом размере частиц включений.

ВВЕДЕНИЕ

Прессовки на основе медного порошка с вольфрамовыми включениями применяют в кумулятивных перфораторах при бурении скважин [1]. Для таких композитов важное значение имеют свойства упругости и неупругости [2]. Развитие методов неразрушающего контроля свойств этого композита и их связи с характеристиками исходного порошка и его компонентов представляет практический интерес с точки зрения отработки методов синтеза рассматриваемого материала при наперёд заданных его свойствах. Акустическим отображением свойств упругости и неупругости прессовок может служить скорость распространения упругих волн [3]. В работе проведена оценка корреляции скорости распространения упругих волн в образцах из медно-вольфрамовых композитов со свойствами исходных порошков и модулем упругости материала.

1 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения исследований методом холодного прессования из смесей в разной пропорции и различными комбинациями размеров частиц медного порошка D_{Cu} и вольфрамовых включений D_W были изготовлены образцы прямоугольной формы (рис. 1).

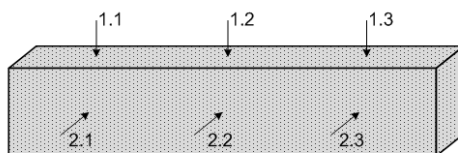


Рис. 1.

Размеры частиц и массовая доля включений Q_W в исходных смесях порошков показаны в табл.1. Образцы разделены на 8 групп смесей, в каждой из которых изменялся один параметр. Пористость материала составляла примерно 23%. Микроструктура

прессовок некоторых составов показана на рис.2: а – $\text{Cu}_{+50}\text{-}50\text{W}_{100}$, б – $\text{Cu}_{+50}\text{-}50\text{W}_{10}$, в – $\text{Cu}_{+50}\text{-}20\text{W}_{100}$, г – $\text{Cu}_{+50}\text{-}20\text{W}_{10}$. Размеры образцов составляли примерно 43,0·6,5·6,5 мм.

Таблица 1.

Группа №	Размер частиц, мкм		Массовая доля включений	Среднее значение скорости С, м/с в направлении		Модуль упругости Е, ГПа в направлении	
	D_{Cu}	D_{W}		прессования	перпендик.	прессования	перпендик.
1	-315 +200	0	38	462	754	2	4
		10		1037	1483	10	20
		28		1447	2034	19	37
		100		675	1172	4	12
2	-200 +160	0	38	471	746	2	4
		10		993	1281	9	15
		28		1267	1838	14	30
		100		559	929	3	8
3	-160 +100	0	38	530	1250	2	11
		10		942	1369	8	17
		28		1342	1874	16	32
		100		820	1323	6	16
4	-100 +50	0	38	435	657	1	3
		10		966	1236	1	14
		28		1169	1594	12	23
		100		536	874	3	7
5	-50	0	38	680	1084	3	14
		10		785	1111	6	11
		28		830	1262	6	14
		100		633	1084	4	11
6	+50	15	50	907	754	8	13
		28		957	1483	9	15
		100		782	2034	6	11
7	-50	15	50	950	1172	9	16
		28		987	746	10	18
		100		845	1281	7	13
8	+50	15	20	737	1838	4	10
		28		769	929	5	10
		100		632	1250	3	8

Эффективную скорость распространения упругой волны материала С определяли по результатам измерения времени сквозного прохождения упругого импульса через исследуемый образец. На рис.1 стрелками показаны направления прозвучивания в разных зонах образца. Цифра 1, до запятой, соответствует направлению прозвучивания, а цифра 2 – перпендикулярному. Измерение времени прохождения проводили методом радиоимпульса с дискретной задержкой [4]. Методика измерений описана в работе [5]. Результаты определения эффективной скорости распространения упругой волны в исследованных композитах для направлений вдоль усилия прессования образца и

перпендикулярно ему приведены в табл.1. На рис.3 показаны построенные по результатам измерений зависимости эффективной скорости распространения упругой волны от размера вольфрамовых включений для разных групп смесей в направлении прессования.

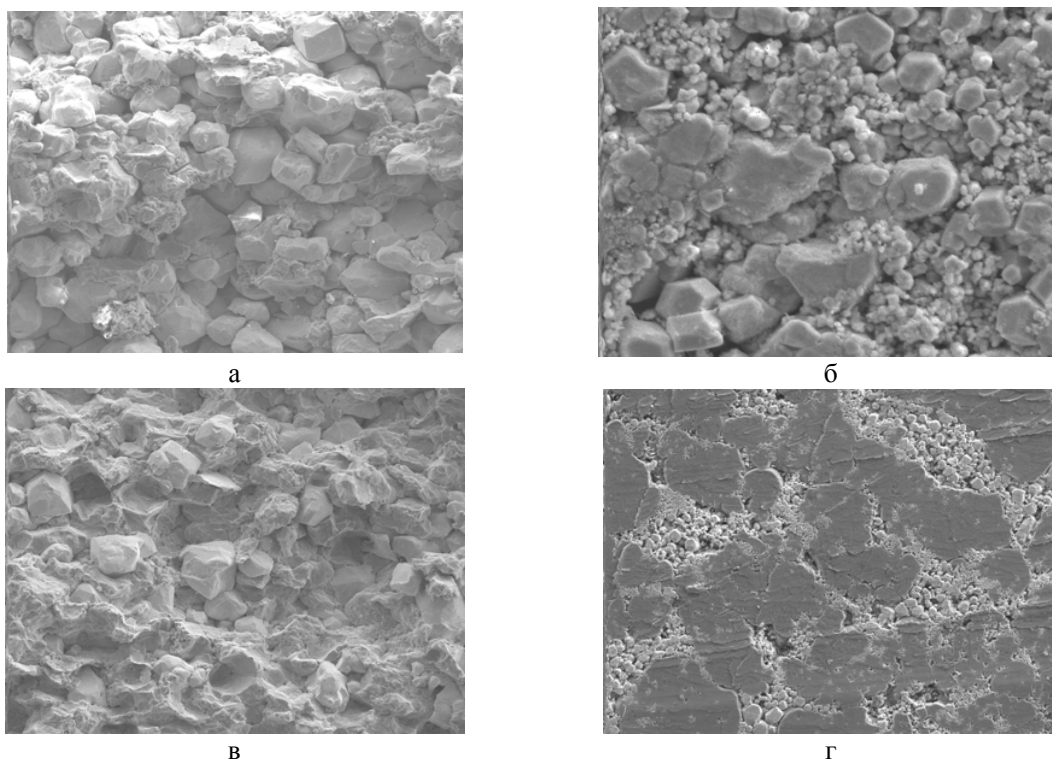


Рис. 2.

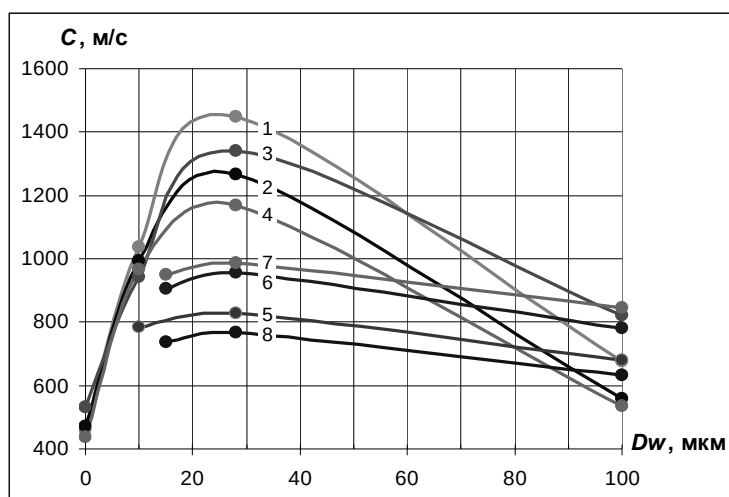


Рис.3.

Эффективный модуль упругости материала E рассчитывали по формуле [5]:

$$E \approx 0,8\rho C^2, \quad (1)$$

где ρ – эффективная плотность материала.

Результаты расчётов эффективного модуля упругости исследованных композитов для направлений вдоль усилия прессования образца и перпендикулярно ему приведены в табл.1. На рис.4 показаны построенные по результатам расчётов зависимости эффективного модуля упругости от объёмной доли вольфрамовых включений для размеров частиц меди +50 (а) и -50 (б). При этом кривые 1.*i* соответствуют направлению прессования, а кривые 2.*i* – перпендикулярному (*i*=1, 2, 3). Значение *i* соответствует размерам частиц вольфрама: 1 – $D_w=10$; 2 – 28; 3 – 100 мкм.

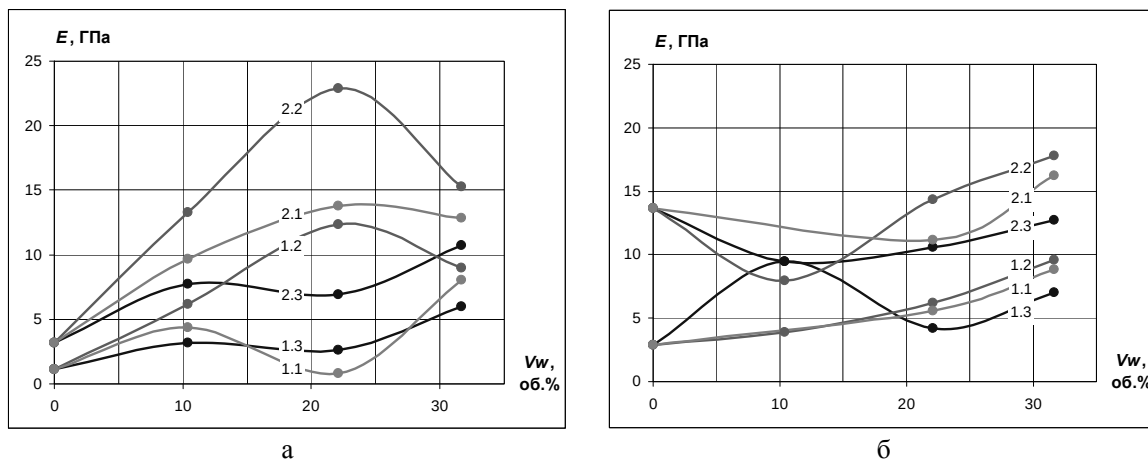


Рис.4.

2 ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для анализа полученных результатов, по аналогии с двухфазным материалом [6], эффективную скорость распространения упругой волны в исследуемом материале представим как функцию мультипликативных составляющих:

$$C = C_k \cdot K_\theta \cdot K_d, \quad (2)$$

где C_k – скорость распространения упругой волны в компактном композите, являющаяся функцией скоростей его фазовых составляющих C_{cu} и C_w ; K_θ и K_d – коэффициенты, учитывающие уменьшение скорости распространения упругой волны, обусловленное соответственно пористостью и несовершенством (дефектностью) контактов.

Совместный анализ рис.3 и табл.1 позволяет сделать такие заключения:

- эффективные значения скорости распространения упругих волн в направлении прессования практически для всех композитов ниже, чем в перпендикулярном. Это подтверждает характерное [7] для порошковых прессовок наличие анизотропии свойств;
- зависимости скорости распространения упругой волны от размера включений имеют явно выраженный максимум при $D_w=28$ мкм для всех групп материалов в направлении, перпендикулярном прессованию, и не имеют каких-либо ярко выраженных тенденций для направления прессования. Полученный результат указывает на наличие геометрической дисперсии скорости распространения упругой волны, обусловленной структурным состоянием прессовки, которое формируется под воздействием на порошковую смесь давления прессования [8] (см. ниже пояснения для K_d формулы (2));
- увеличение массовой доли включений приводит к увеличению скорости распространения упругой волны. Это можно объяснить более высокой скоростью распространения упругой волны в компактном вольфраме (5460 м/с) по сравнению с

компактной медью (4700 м/с) [9], что приводит к увеличению составляющей C_k в формуле (2);

– между скоростью распространения упругой волны и размерами частиц нет взаимно-однозначного соответствия даже для случая двухфазного материала (медь + поры). Это можно объяснить тем, что при прессовании порошков преобладающими факторами формирования свойств композита являются не столько исходные свойства порошков, сколько условия компактирования смеси [8] (см. ниже пояснения для K_d формулы (2)).

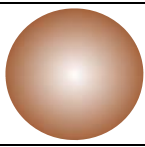
Совместный анализ рис.3 и табл.1 позволяет сделать такие заключения:

– для эффективного модуля упругости сохраняются основные закономерности, отмеченные для скорости распространения упругой волны;

– экспериментально полученные значения эффективного модуля упругости исследуемых материалов в несколько раз меньше рассчитанных по моделям, в которых не учтены контактные явления [5]. Это позволяет сделать вывод, что на значение модуля упругости рассматриваемых композитов, как и на скорость распространения упругих волн в них, наиболее сильно влияют эффекты контактообразования (см. коэффициент K_d в формуле (2)).

Процесс контактообразования в рассматриваемых композитах существенно зависит от соотношения размеров и формы частиц. Это видно из рис.2. Для большей наглядности в табл.2 представлены в виде сфер в масштабе 100:1 частицы исходных порошков меди и вольфрама разных размеров, а на рис.5 показаны структурные модели материала композитов с частицами меди 50 мкм: а – Cu_{50} ; б – $Cu_{50}-38W_{10}$; в – $Cu_{50}-38W_{28}$; г – $Cu_{50}-38W_{100}$. Контактные явления в рассматриваемом материале связаны с взаимодействием частиц Cu-Cu, Cu-W и W-W. Как видно из рис.2 и 5, при разных соотношениях размеров исходных частиц и разной доле включений, каждое из этих взаимодействий может давать больший или меньший вклад в процесс контактообразования. Однако, каждая комбинация размеров частиц и процентного содержания фаз даёт своеобразные контактные условия и соответствующим образом отображается в свойствах материала, что мы и наблюдаем в экспериментально полученных значениях скорости распространения упругой волны и модулях упругости исследованных композитов.

Таблица 2.

Материал	Диаметры частиц, мкм					
	10	15	28	50	100	200
Медь	-	-	-			
Вольфрам				-		-

ВЫВОДЫ

Экспериментально полученные значения модуля упругости и скорости распространения упругой волны для разных размеров медных частиц и вольфрамовых включений при разных соотношениях фаз медно-вольфрамовых прессовок показывают, что по результатам акустических измерений можно проводить оптимизацию состава и свойств исходных порошков медно-вольфрамового композита, получаемого путём холодного прессования.

Дальнейшее развитие этих работ целесообразно проводить в направлении разделения факторов, влияющих на эффективную скорость распространения упругой волны в исследуемом композите. В первую очередь интересен вопрос выявления механизмов, обуславливающих дисперсию скорости распространения упругой волны.

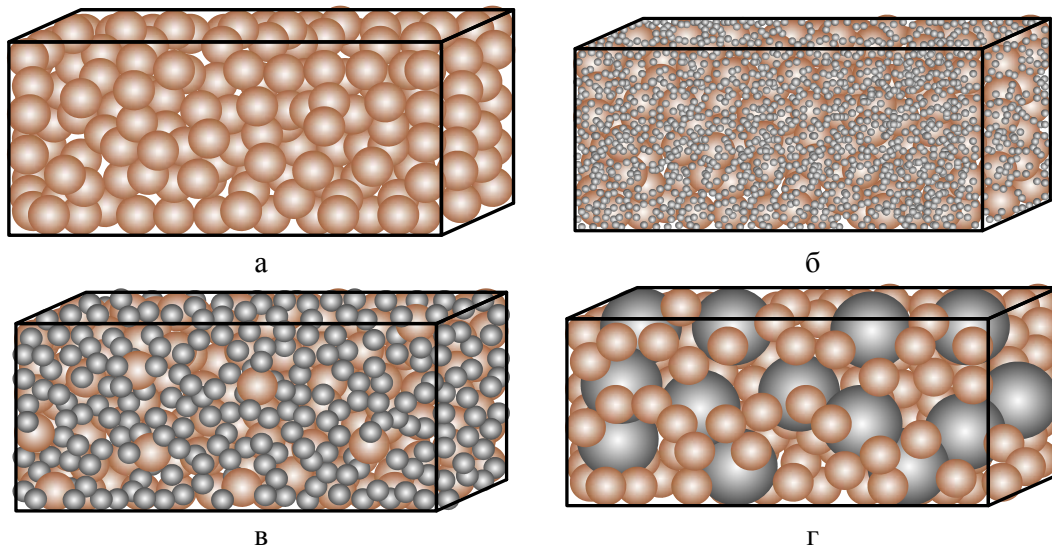


Рис. 5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орленко Л.П. Физика взрыва. В 2-х т. – Т.2. – М.: Физматиздат, 2004. – 656 с.
2. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. – М.: Наука, 1973. – 416 с.
3. Безмянный Ю.Г. Возможности акустических методов при контроле структуры и физико-механических свойств порошковых материалов // Порошковая металлургия - 2001.- №5-6. - С.23-33.
4. Труэлл Р., Эльбаум, Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. – М.: Мир, 1972. – 302 с.
5. Безмянный Ю. Г., Епифанцева Т.А., Козирацкий Е.А. Исследование корреляции скорости распространения упругой волны с параметрами композита на основе медного порошка с вольфрамовыми включениями // Тез. докл. Акустический симпозиум “КОНСОНАНС-2009” - стр. 83-88.
6. Безмянный Ю.Г., Талько О.В. Анализ возможностей акустических методов по выявлению дефектности контактов в порошковых материалах / Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2006. - №. 2. – С. 39-45.
7. Сердюк Г.Г., Павлыго Т.М Прессование и формование порошков // Неорганическое материаловедение: Энциклопед. изд.: В 2 т. / Под ред. Г.Г.Гнесина, В.В.Скорохода.– Т.2. – Кн.2: П – Э: Материалы и технологии. – Киев: Наукова думка, 2008. – С.124-142.
8. Безмянный Ю.Г., Кушевский А.Е., Сиденко Р.В. Акустическое отображение нерегулярности формирования свойств полидисперсного порошкового железа // Электроника и связь. – 2005. – № 28 – С. 78–82.
9. Физические величины: Справочник / Под ред. И.С.Григорьева, Е.З.Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.