

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ОТРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА

Ю. Г. БЕЗЫМЯННЫЙ¹, Г. А. БОГДАН², А. Н. КОЛЕСНИКОВ¹, А. В. ЛАПТЕВ¹,
А. И. ТОЛОЧИН¹, Е. В. ХОМЕНКО¹

¹*Институт проблем материаловедения имени И.Н.Францевича НАН Украины, Киев*

²*Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев*

В работе проведены результаты использования ультразвуковых методов неразрушающего контроля для отработки новой технологии изготовления порошковых материалов. Исследования проводили на материалах, имеющих различное целевое назначение и, соответственно, существенно отличающихся по своим свойствам: высокомодульные на основе порошка монокарбида вольфрама с добавкой порошка кобальта (WC-20Co) и электроконтактных на основе порошка меди с добавкой порошка хрома (Cu-30Cr). Показано, что по результатам акустических измерений скорости распространения упругой волны в различных зонах и направлениях призматических образцов можно судить о стабильности свойств получаемого по контролируемой технологии материала. Построены зависимости скорости распространения упругой волны и модуля упругости от параметров технологического режима и проведена их оптимизация по критерию достижения наибольшего модуля упругости материала.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной промышленности ставит перед материаловедением задачи по разработке новых технологий изготовления порошковых материалов с повышенными физико-механическими характеристиками [1]. Технология должна обеспечивать формирование однородной структуры и соответствующее постоянство свойств получаемого материала [2]. Оценка свойств изделий порошковой металлургии производится по результатам испытаний образцов, специально изготавливаемых для этой цели по обрабатываемой технологии. Особенности порошковых материалов являются возможная неидентичность свойств изделий в пределах одной партии, а также неравномерность распределения свойств по объему материала [3]. Поэтому возникает необходимость получения реальных значений свойств каждого образца материала и их распределения в пределах одного образца. Перспективными для решения этой задачи являются акустические методы неразрушающего контроля, основанные на измерении скорости распространения упругой волны (СРУВ) [4]. СРУВ функционально связана с упругостью и плотностью материала [5], поэтому ее равномерность внутри объема исследуемого материала может быть критерием его однородности, а изменение как функция параметров технологических режимов позволяет оптимизировать эти режимы по критерию достижения определенного свойства материала. Также данная методика дает возможность поэтапно контролировать отклонение от нормы физико-механические характеристики материала на различных стадиях изготовления образца.

1 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

При проведении эксперимента в качестве объектов исследования были выбраны материалы с различными свойствами: высокомодульные на основе порошка монокарбида вольфрама с добавкой порошка кобальта WC-20Co (размеры частиц менее 5 мкм) и электроконтактные на основе порошка меди с добавкой порошка хрома Cu-30Cr (размеры

частиц меди 25, хрома – 10 мкм). Образцы для исследований были изготовлены в ИПМ НАН Украины. На первой стадии изготовления материала из исходных смесей указанных порошков по технологии горячего прессования в вакууме с применением кратковременного нагрева и высокоскоростного нагружения получали заготовки цилиндрической формы (рис.1а). Направление прессования P показано стрелкой. Из каждой заготовки вырезали по 4 образца: 11; 12; 21; 22. Схема расположения образцов в заготовке показана на рис.1а. Для устранения приповерхностных дефектов после резки образцы шлифовали. На рис.1б показан внешний вид образцов для исследований. Их размеры составляли: $l=20\div 25$ мм; $a=3\div 5$ мм; $h=3\div 5$ мм. Одну пару образцов (11; 12) после первой стадии изготовления исследовали посредством измерения СРУВ. Вторую пару (21; 22) подвергали дополнительной термической обработке (вторая стадия изготовления), а затем исследовали. Микроструктура материала WC-20Co после первой стадии изготовления показана на рис.1в. Как видно из рисунка в репрезентативном микрообъёме материал можно считать статистически однородным.

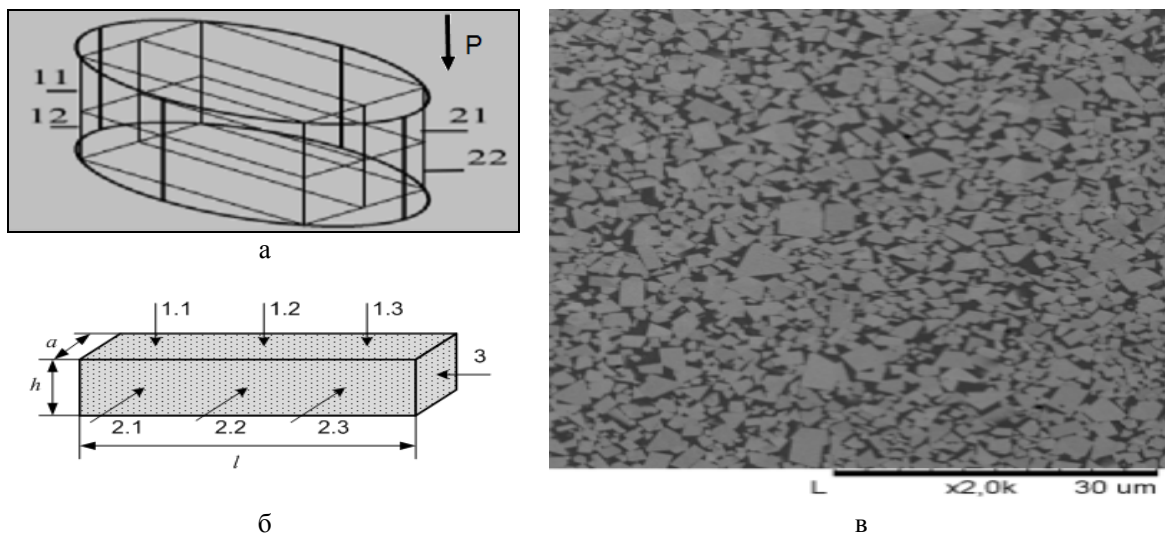


Рис.1

СРУВ C определяли импульсным ультразвуковым методом по результатам измерений времени прохождения упругого импульса в различных зонах образца в направлении прессования (1.1; 1.2; 1.3) и перпендикулярном (2.1; 2.2; 2.3; 3) с учётом результатов измерений соответствующих размеров образцов. Измерение времени проводили на частоте 5 МГц методом радиоимпульса с дискретной задержкой [6]. Структурная схема измерений приведена в работе [7]. Размеры образцов измеряли микрометром. СРУВ рассчитывали по формуле:

$$C = \frac{h}{t_{\text{изм}} - t_0},$$

где $t_{\text{изм}}$ – измеряемое время; t_0 – систематическая погрешность измерений времени. Методическая погрешность определения скорости распространения упругой волны не превышала $\pm 0,5\%$.

Модуль упругости определяли по формуле:

$$E = \frac{C^2 \cdot \rho \cdot (1 + \mu) \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}{(1 - \mu)}$$

где ρ – плотность исследуемого материала; μ – коэффициент Пуассона. Плотность материала определяли по результатам измерений размеров и веса образцов. Коэффициент Пуассона задавали равным 0,3. Методическая погрешность определения модуля упругости не превышала $\pm 2\%$.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оценки стабильности свойств материала по результатам измерений СРУВ был проведен дисперсионный анализ [8]. При анализе принята и проверена гипотеза о нормальном распределении величины СРУВ, вычислены её оценка \bar{x} и её среднеквадратическое отклонение σ в различных выборках. Каждая выборка содержала от 3 до 6 результатов измерений. Результаты дисперсионного анализа приведены в табл. 1 и 2.

В таблице 1 приведены оценки величины СРУВ и её среднеквадратического отклонения в пределах одного образца для различных направлений прессования каждого материала.

Таблица 1

Материал	№ образца	Направление			
		1		2	
		$\bar{x}, \text{м/с}$	$\sigma, \text{м/с}$	$\bar{x}, \text{м/с}$	$\sigma, \text{м/с}$
WC-20Co	11	6255	27	6299	29
	12	6138	26	6291	28
	21	6102	25	6069	24
	22	6095	24	5976	23
Cu-30Cr	11	4667	19	4784	21
	12	4711	20	4750	20

В таблице 2 приведены оценки величины СРУВ и её среднеквадратического отклонения для образцов, вырезанных из разных участков технологической заготовки и изготовленных в разных партиях при одинаковых технологических режимах. Выборки брали для центральных зон образцов в различных направлениях отдельно для каждой стадии прессования материала.

Таблица 2

Материал	Температура, °C	Стадия 1				Стадия 2			
		Направление 1		Направление 2		Направление 1		Направление 2	
		$\bar{x}, \text{м/с}$	$\sigma, \text{м/с}$	$\bar{x}, \text{м/с}$	$\sigma, \text{м/с}$	$\bar{x}, \text{м/с}$	$\sigma, \text{м/с}$	$\bar{x}, \text{м/с}$	$\sigma, \text{м/с}$
WC-20Co	1250	6162	105	6091	132	5909	177	5990	247
	1300	6177	160	6273	138	6143	233	6188	237
	1320	6049	188	6216	56	6095	59	6135	213
	1350	6203	61	6137	109	5791	151	5840	87
Cu-30Cr	750	4554	118	4696	75	-	-	-	-
	850	4585	167	4706	73	-	-	-	-
	950	4737	58	4652	209	-	-	-	-
	1050	4734	43	4737	36	-	-	-	-

Для оптимизации параметров технологического режима изготовления материалов были построены путём аппроксимации экспериментальных данных полиномом второй степени зависимости СРУВ, измеренной на каждой стадии изготовления в направлении прессования и перпендикулярном ему, от температуры спекания. На рис.2 приведены эти зависимости и экспериментальные точки оценки величины СРУВ, измеренной в средней

зоне образцов, вырезанных из разных участков технологической заготовки и изготовленных в разных партиях. Обозначение 1 соответствует направлению прессования, 2 – перпендикулярному ему. Там же приведены оценки достоверности R^2 построенных кривых.

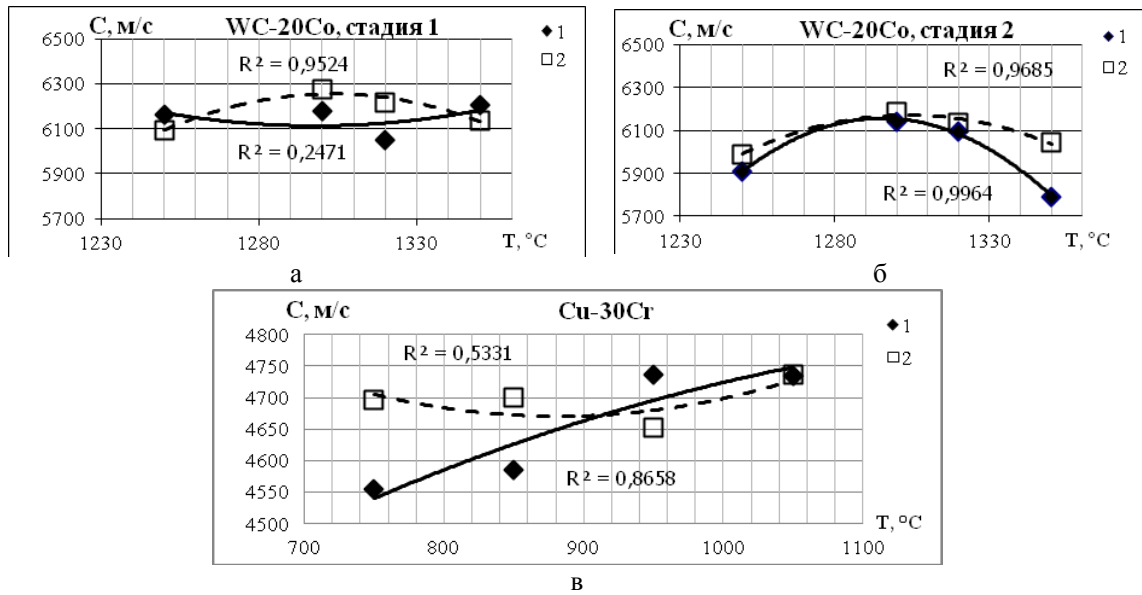


Рис.2

На рис.3 приведены результаты оценки величины модуля упругости, определённого по величине СРУВ, измеренной в средней зоне образцов, вырезанных из разных участков технологической заготовки и изготовленных в разных партиях, и соответствующие этим результатам зависимости модуля упругости от температуры спекания, построенные путём аппроксимации экспериментальных данных полиномом второй степени. Обозначения соответствуют рис.2.

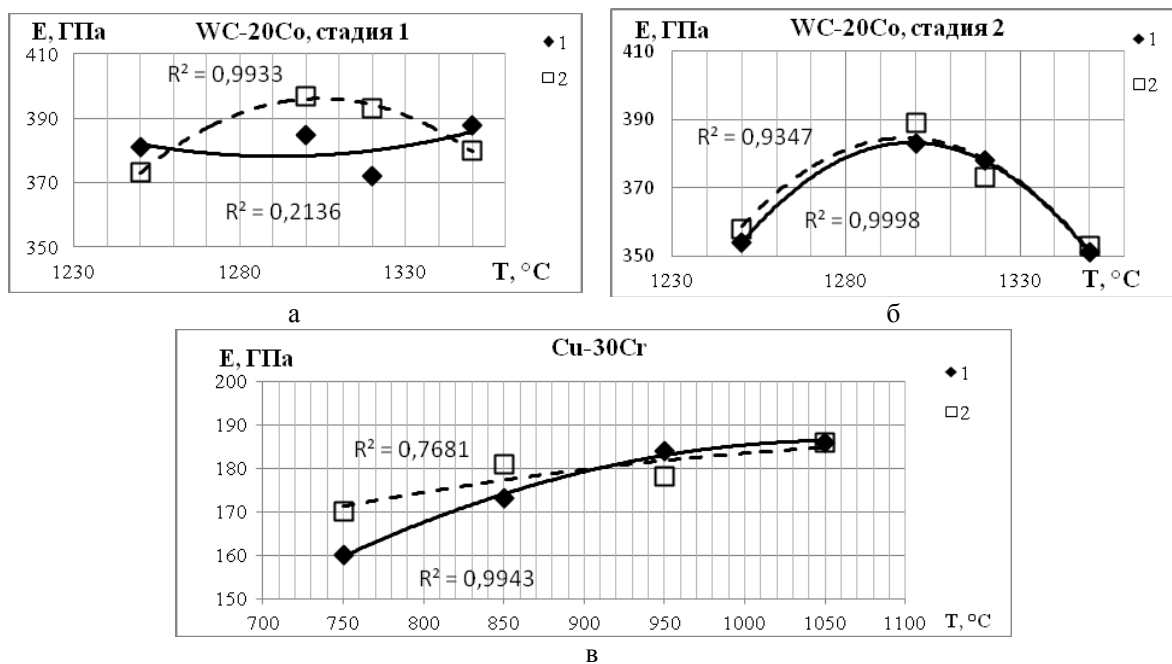


Рис.3

3 ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ приведенных в таблице 1 результатов позволяет сделать такие заключения:

- среднее квадратическое отклонение величины СРУВ от её оценки в пределах длины каждого образца не превышает методической погрешности измерений, поэтому следует считать, что в материале каждой заготовки в направлении, перпендикулярном прессованию, свойства распределены равномерно с точностью до методической погрешности эксперимента;
- оценка величины СРУВ для образцов, вырезанных из разных по вертикали участков заготовки, изменяется в пределах 2 % для WC-20Co и 1 – для Cu-30Cr, что превышает величину методической погрешности измерений, поэтому следует считать, что в материале каждой заготовки разброс свойств по вертикали лежит в пределах 2 и 1 %, соответственно;
- оценка величины СРУВ для разных направлений прозвучивания образцов изменяется в пределах 3 % для обоих материалов, что превышает величину методической погрешности измерений, поэтому следует считать, что материал обладает, по крайней мере, трансверсальной анизотропией свойств.

Анализ приведенных в таблице 2 результатов позволяет сделать такие заключения:

- среднее квадратическое отклонение величины СРУВ от её оценки в образцах разных партий каждого технологического режима изменяется в пределах 3 % для WC-20Co и 5 % для Cu-30Cr, что превышает величину методической погрешности измерений, поэтому следует считать, что технологический разброс свойств лежит в пределах соответственно 3 и 5 %;
- оценка величины СРУВ для разных направлений прозвучивания образцов из WC-20Co изменяется при каждом технологическом режиме в пределах 3 % на первой стадии изготовления и в пределах 1,5 % – на второй, что превышает величину методической погрешности измерений, поэтому следует считать, что материал сохраняет анизотропию свойств до 3 % при всех исследованных температурных режимах кратковременного нагрева в процессе высокоскоростного нагружения, а при дополнительной температурной обработке анизотропия уменьшается в два раза;
- оценка величины СРУВ для разных направлений прозвучивания образцов из Cu-30Cr изменяется с повышением температуры от 3 до 0,5 %, что при наименьшей из исследованных температур превышает величину методической погрешности измерений, а с повышением температуры постепенно стремится к методической погрешности измерений, поэтому следует считать, что анизотропия свойств материала при исследованных температурных режимах кратковременного нагрева в процессе высокоскоростного нагружения составляет 3 % при самой низкой температуре, а с повышением температуры постепенно уменьшается вплоть до полного исчезновения;
- оценка величины СРУВ при разных температурных режимах обработки образцов для каждого материала изменяется до 4 % на первой стадии обработки и до 6 % – на второй, что превышает величину методической погрешности измерений, поэтому следует считать, что свойства материала зависят от температурного режима кратковременного нагрева в процессе высокоскоростного нагружения и, в большей мере, от величины температуры при дополнительной обработке.

Анализ приведенных на рис.2 результатов позволяет наглядно подтвердить заключения, сделанные по результатам данных табл.2, а также дополнительно продемонстрировать влияние технологических режимов обработки на СРУВ материала:

- для образцов из WC-20Co после первой стадии обработки характерна анизотропия свойств при различных закономерностях влияния температуры на свойства материала в направлении прессования и перпендикулярном ему, а после второй стадии анизотропия свойств исчезает и в

обоих направлениях наблюдается максимальное значение СРУВ при одной и той же температуре. Видно, что перегрев материала приводит к уменьшению СРУВ, что характерно для порошковых материалов [3];

– для образцов из Cu-30Cr нет необходимости во второй стадии обработки, т.к. свойства материала на первой стадии улучшаются монотонно с увеличением температуры и при температуре 1050 °С СРУВ достигает наибольшего значения, анизотропия свойств полностью исчезает. Это характерно для пластичных порошковых материалов [9].

Анализ приведенных на рис.3 результатов показывает, что закономерности изменения модуля упругости при различных технологических режимах получения материала практически повторяют таковые для СРУВ.

ВЫВОДЫ

Результаты работы показали, что по измеренной скорости распространения упругой волны в образцах можно судить о качестве порошковых материалов, получаемых на разных стадиях технологических режимов. При этом изменение скорости распространения упругой волны может быть мерой равномерности свойств в объёме получаемого материала и стабильности между образцами одной партии или разных партий. Абсолютное значение скорости распространения упругой волны позволяет определять характеристики упругости материала без его разрушения.

Таким образом, скорость распространения упругой волны является хорошим инструментом для отработки параметров технологического оборудования и оптимизации режимов формирования материала по критерию его свойств упругости.

Развитие работ в данном направлении может быть связано с использованием комплексного модуля упругости для повышения информативности результатов измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сучасне матеріалознавство ХХІ сторіччя. / Відп. ред. І.К.Походня. - Київ: Наук. думка, 1998. С. 447-472.
2. 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.
3. О.В. Роман, В.В. Скороход, Г.Р. Фридман. Ультразвуковой и резистометрический контроль в порошковой металлургии. Минск: «Высшая школа». 1989. – 183с.
4. Безымянный Ю.Г. Возможности акустических методов при контроле структуры и физико-механических свойств пористых материалов // Порошковая металлургия.– 2001.– № 5-6.– С.23-33.
5. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В.В.Клюева. – М.,: Машиностроение, 2003. – 656 с.
6. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. – М.: Мир, 1972. – 302 с.
7. Безымянный Ю.Г., Єпіфанцева Т.О., Козирацький Є.О. Дослідження впливу структури композита на основі мідного порошку із вольфрамовими вкрапленнями на швидкість поширення пружної хвилі. // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Зб.наук.праць. Тематичний випуск "Електроенергетика и преобразовательная техника". – Харків: НТУ "ХПІ" – № 12. – 2010. С. 148-155.
8. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
9. Федорченко И.М., Андриевский Р.А. Основы порошковой металлургии. – К.: АН УССР, 1963. – 420с.