

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Ю. Г. БЕЗЫМЯННЫЙ<sup>1</sup>, Г. А. БОГДАН<sup>2</sup>, А. Н. КОЛЕСНИКОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины*

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

Проведена экспериментальная оценка возможностей адаптации акустических методов неразрушающего контроля для определения физико-механических свойств многокомпонентных порошковых материалов. В качестве объектов контроля были взяты композиционные материалы, состоящие из двух фаз: железа и чугуна с высоким содержанием углерода. Показано, что акустические методы неразрушающего контроля могут быть использованы для отработки свойств композиционных материалов по критериям: упругости, неупругости, дефектности, а также, что на их основе можно дать рекомендации по оптимизации состава порошкового материала в локальных диапазонах его изменения.

### ВВЕДЕНИЕ

Получение определенных, заранее заданных, физико-механических свойств многокомпонентных композиционных материалов является важной задачей при их разработке и изготовлении. Как правило, такие материалы обладают неоднородной структурой и достаточно сложными диаграммами состояния, а разнообразие технологий изготовления и увеличение количества исходных компонентов, приводит к тому, что заранее спрогнозировать оптимальный состав исходных компонентов, а также определиться с выбором технологии изготовления композиционного материала по критерию достижения определенных свойств затруднительно. В данном случае поставленную задачу решают путем перебора исходных компонентов и параметров технологических режимов с последующей проверкой полученных характеристик материала. Такая проверка может быть проведена с использованием акустических методов неразрушающего контроля. Однако, поскольку эти методы косвенные, то необходимым условием их применения является наличие функциональной или корреляционной связи между исследуемым свойством материала и измеряемым параметром. Таким образом, решение этой задачи контроля с помощью акустических методов состоит в отображении в рамках выбранной механической модели с помощью параметров акустического поля посредством корреляционной зависимости искомого свойства материала.

### 1 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении эксперимента в качестве объектов исследования были выбраны 9 образцов многокомпонентного порошкового материала, изготовленных в Институте проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАНУ по нетрадиционной технологии. На рис.1 представлена внутренняя структура объектов контроля. На рис.2 показан внешний вид исследуемых образцов. Материал образцов был получен путем литья из двух порошковых компонентов: железа и чугуна с высоким содержанием углерода (до 7%).

Процентное соотношение компонентов в каждом образце отлично. Все образцы были изготовлены по одной технологии, но прошли различные дополнительные виды обработок. Данные по объектам контроля приведены в табл.



Рис.1

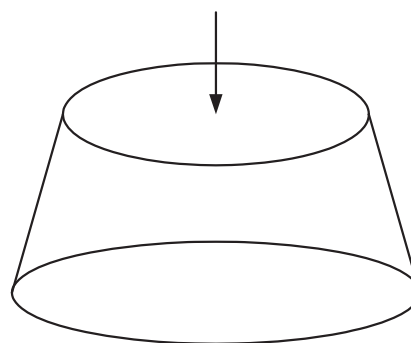


Рис.2

									Табл.
№образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9
содержание железа в образце %	90	80	70	60	50	40	30	20	10
содержание чугуна в образце %	10	20	30	40	50	60	70	80	90
обработка	к*, з*, п*	-	-	к*, з*, п*	к*, з*, п*	к*, з*, п*	к*, з*, п*	к*, з*, п*	к*, з*, п*

к\* - ковка, з\* - закаливание, п\* - прессовка

Для определения изменения свойств материала исследуемых образцов при изменении процентного содержания в них чугуна были проведены измерения в объекте контроля продольной скорости распространения упругой волны и ее затухание.

Измерения скорости распространения и коэффициента затухания упругой волны проводились с помощью аппаратного комплекса, разработанного в Институте проблем материаловедения НАН Украины. Выбор комплекса обусловлен тем, что он позволяет: реализовывать различные акустические методы неразрушающего контроля, достигать высокой точности измерений.

Скорость распространения измерялась импульсным методом в режиме ударного возбуждения пьезопреобразователя при сквозном прозвучивании образцов преобразователем с резонансной частотой 5 МГц. Измерения коэффициента затухания проводились методом импульса сравнения на частоте 4 МГц [1,2]. При абсолютных измерениях скорости учитывалось время задержки, вызванное прохождением сигнала в электрических цепях.

На рис.3 приведена структурная схема измерения скорости распространения продольной упругой волны, где: 1 – измеритель временных интервалов; 2 – генератор импульсов; 3, 5 – излучающий и приёмный ультразвуковые преобразователи; 4 – объект контроля; 6 – осциллограф; 7 – усилитель.

На рис.4 приведена структурная схема измерения коэффициента затухания [3], где: 1 – генератор радиоимпульсов; 2, 4 – излучающий и приёмный ультразвуковые преобразователи; 3 – объект контроля; 5 – регистрирующая аппаратура (включающая: усилитель, осциллограф, магазин затуханий). Погрешность измерений для исследованных образцов не превысила 0,4%.

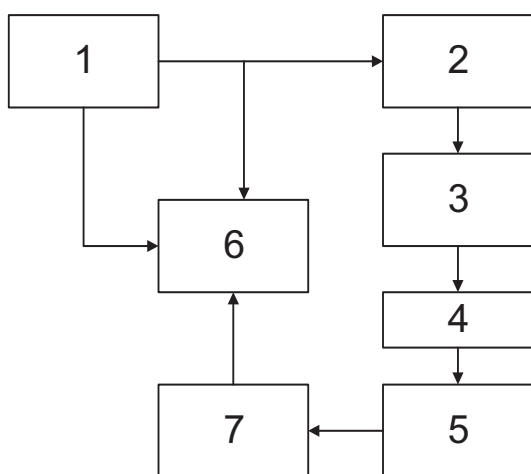


Рис.3

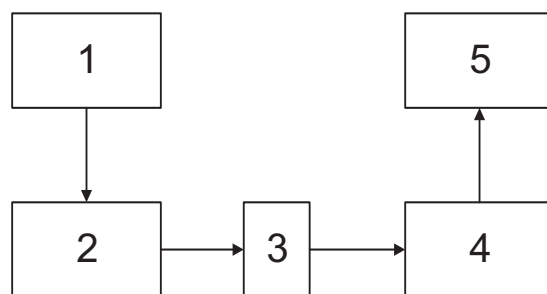


Рис.4

Измерение плотности материала проводилось методом гидростатического взвешивания. Данные по твердости материала были предоставлены Институтом проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАНУ.

На рис.5. показаны результаты измерений скорости распространения продольной волны в исследуемых образцах. Результаты измерения твердости исследуемых материалов представлены на рис.6, а плотности – на рис.7. На рис.8. представлены результаты измеренного затухания в объектах контроля.

### 3 ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как известно, распространяющаяся в порошковом материале упругая волна взаимодействует с элементами его структуры, несет информацию об особенностях этой структуры и соответствующих ей свойствах материала. Изменение скорости распространения упругой волны происходит в результате изменения характеристик упругости (упаковка частиц, качество связей между частицами) и инерции (плотности) материала, а коэффициент затухания зависит от рассеяния на порах и поглощения в неидеальных контактах между частицами.

Для определения наиболее оптимального состава исследуемого материала на основе проделанных исследований по критерию прочности необходимо было выявить корреляцию между измеренной скоростью распространения упругой волны в объекте контроля и полученными результатами по твердости. Известно, что связь между этими

параметрами обратнопропорциональная: чем выше твердость, тем ниже скорость [4]. Для образцов № 2, 3 испытания на твердость не проводились, так как они не проходили дополнительную технологическую обработку. Образец № 9 из-за неоднородности внутренней структуры имеет большой разброс по твердости (рис.6).

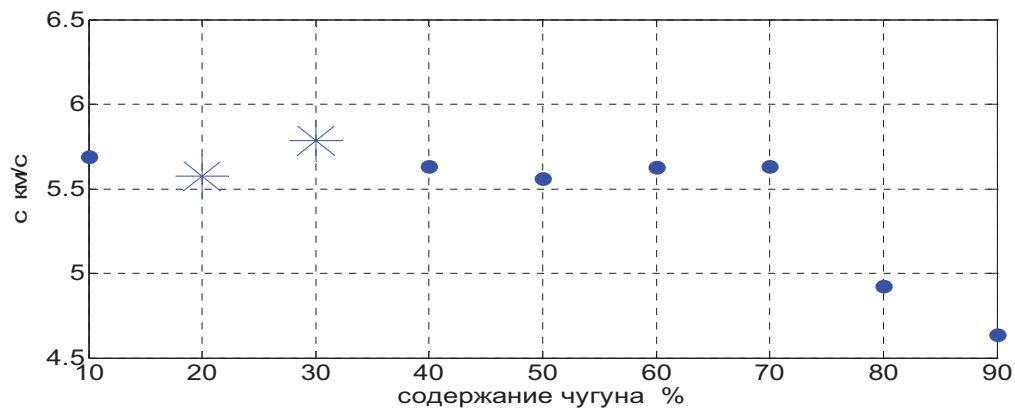


Рис.5

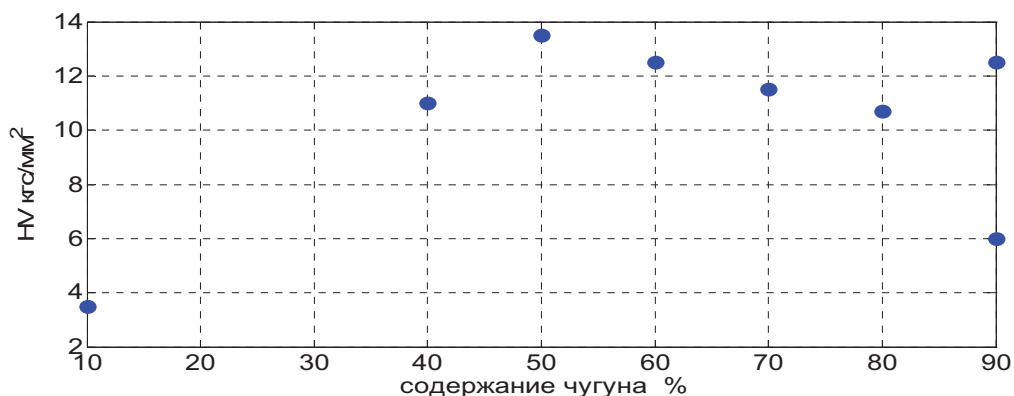


Рис.6

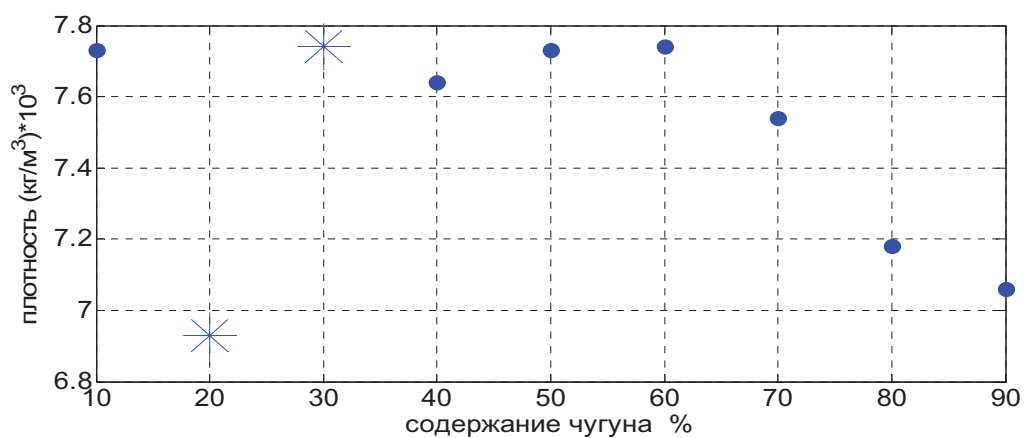


Рис.7

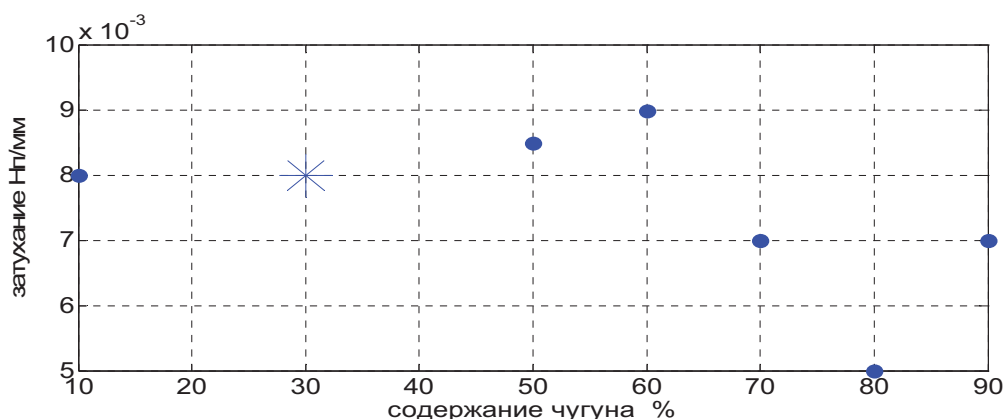


Рис.8

Анализируя график скорости (рис.5) мы можем отметить, что наблюдаемый минимум (образец № 5) полностью коррелирует с измеренной твердостью (рис.6) – максимум (образец № 5). В силу значительных изменений свойств материала в широком интервале изменения процентной доли чугуна, следует выделить локальную область этого изменения, где корреляция скорости, твердости и плотности становится взаимнооднозначной (рис.9,10,11). Резкое понижение скорости в образцах № 8, 9 объясняется большим содержанием чугуна в составе материала, что также отображено и в результатах по измерению плотности – снижение плотности материала в образцах № 8, 9. На основе полученных результатов мы можем сделать вывод, что оптимальный состав по критерию прочности имеет образец №5, а оптимальными для дальнейших исследований являются образцы №4,5,6,7 (Рис.9,10,11).

Если рассматривать затухание (Рис.8) то столь четкой корреляции, как для скорости, мы не наблюдаем. Работы по данному направлению еще проводятся.

## ВЫВОДЫ

В результате проделанной работы выявлена корреляционная связь между скоростью распространения упругой волны, плотностью и твердостью. Показано, что акустические методы неразрушающего контроля можно использовать для отработки оптимального состава многофазных порошковых материалов в локальных диапазонах его изменения.

Авторы выражают благодарность д.т.н. Н.Ф.Гадзыре за предоставленные материалы и данные по твердости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов. – М.: Металлургия, 1991. – 752 с.
2. Физическая акустика. Том 3, часть А: Влияние дефектов на свойства твердых тел / Под ред. У. Мэзона. – М.: Мир, 1969. – 580 с.
3. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В.В.Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.

4. Ботаки А.А., Ульянов В.Л., Шарко А.В. Ультразвуковой контроль прочностных свойств конструкционных материалов – М.: Машиностроение. – 1983. – 179 с.

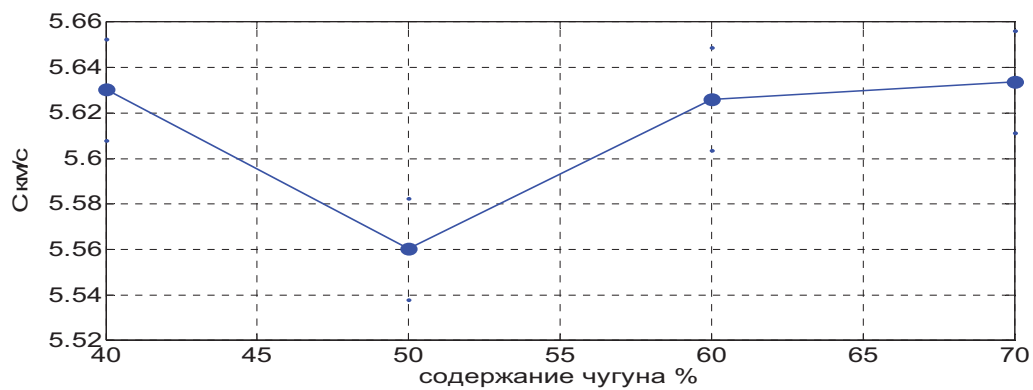


Рис.9

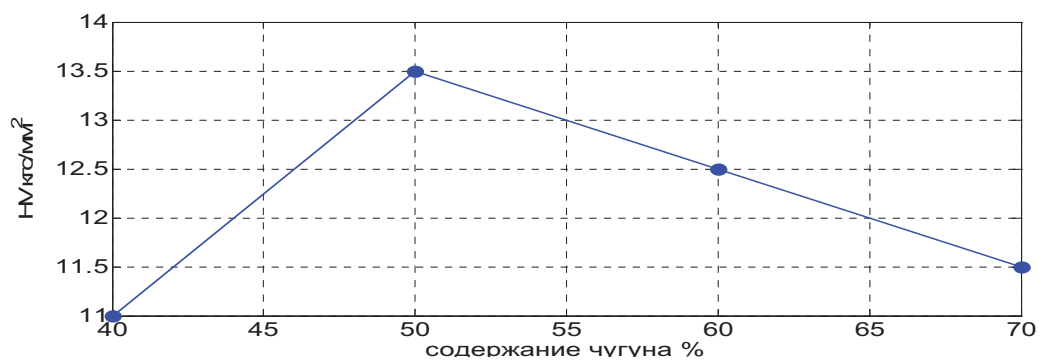


Рис.10

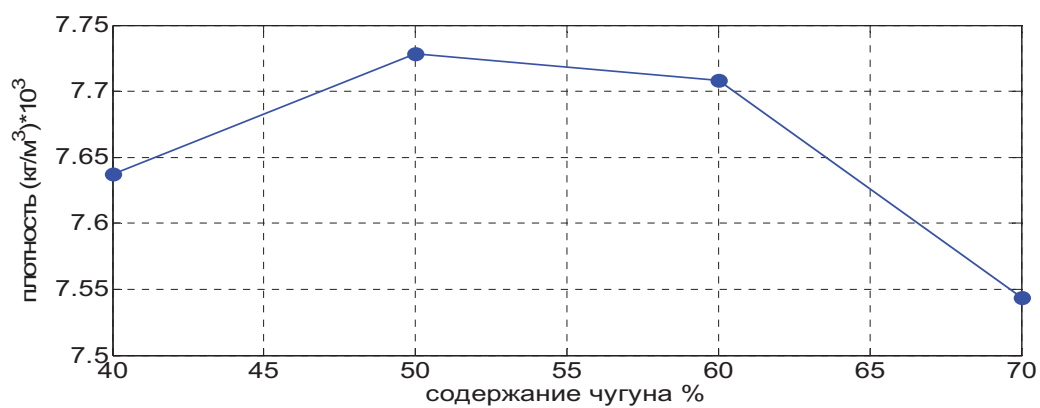


Рис.11