

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КОМПАКТИРОВАНИЯ И КОНСОЛИДАЦИИ ПРЕССОВОК

Е. Ю. БЕЗЫМЯННАЯ, В. А. НАЗАРЕНКО, О. В. ТАЛКО

Институт проблем материаловедения им. И.Н.Францевича НАН Украины, Киев

В работе на примере композитов, полученных на основе порошков титана и гидрида титана, показаны возможности ультразвука для контроля процессов компактирования и консолидации прессовок, получаемых как полуфабрикат на типичной для многих технологий порошковой металлургии второй стадии изготовления материала – его формовании. По результатам акустических измерений проведена оптимизация состава прессовок нового титан-титаногидридного композита при отработке режима его холодного прессования. Для этого производилось измерение затухания и скорости распространения упругой волны в цилиндрических образцах этого композита при различных усилиях прессования порошка титана с различным массовым содержанием порошка гидрида титана.

ВВЕДЕНИЕ

Материалы на основе порошкового титана перспективны для использования в деталях и конструкциях, требующих в эксплуатации высокую удельную прочность [1]. Методы порошковой металлургии позволяют существенно снизить стоимость титановых изделий. Наиболее экономичным является метод смесей порошковых компонентов, при котором к порошку титановой основы легирующие элементы добавляют в виде порошков металлов или лигатур. Порошковые материалы изготавливают постадийно [2]. Одной из стадий изготовления является холодное формование прессовок. Основные процессы, которые проходят в материале этой стадии – его компактирование, или уплотнение порошка, и консолидация, или установление механических связей между частицами порошка [3]. Эти процессы необходимы для дальнейших технологических операций обработки материала и поэтому требуют контроля. Мерой компактности материала является пористость, а консолидации – дефект модуля упругости. Акустическими отображениями обоих этих процессов являются затухание и скорость распространения упругой волны [4] (СРУВ). Поэтому по изменению этих акустических характеристик можно судить о процессах компактирования и консолидации в материале. В работе исследовано влияние этих процессов на величины СРУВ и её затухания в результате формования новых порошковых материалов на основе титана и его гидрида.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы для исследований получали путём двухстороннего холодного прессования смесей в разной пропорции порошков электролитического титана марки ПТЭС фракции -063 и гидрида титана фракции -01. Изменение усилия прессования F обеспечивало разную степень компактности прессовок и разную степень консолидации частиц их материалов. Прессовки представляли собой цилиндры высотой $h \approx 11$ мм и диаметром $d \approx 14$ мм (рис.1).

Измерение времени распространения упругой волны t проводили методом радиоимпульса с дискретной задержкой [5] на частоте 0,6 МГц при использовании

ударного возбуждения [6] со сквозным прозвучиванием исследуемого объекта по толщине. Выбор частоты был обусловлен возможностью прозвучивания образца. СРУВ c определяли по измеренному времени распространения упругого импульса по толщине образца с учётом систематической погрешности [7]. Затухание упругой волны в материале оценивали по величине длительности фронта принимаемого сигнала τ [8].

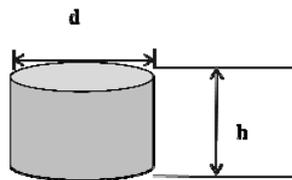


Рис.1.

Структурная схема измерений приведена на рис.2. Исследуемый образец устанавливали в измерительной камере с помощью специального прижимного устройства, обеспечивающего нормированное усилие прижима излучающего и приёмного преобразователей к образцу. В качестве контактной жидкости использовали воду. Для защиты материала от попадания в поры контактной жидкости его поверхность покрывали липкой лентой. На излучающий пьезоэлектрический преобразователь подавали периодическую последовательность электрических прямоугольных импульсов, возбуждая на его выходе периодическую последовательность механических радиоимпульсов с частотой заполнения 0,6 МГц, соответствующей рабочей частоте преобразователя. Пройдя через образец, сигнал преобразовывался в приемном пьезоэлектрическом преобразователе в электрический сигнал и через усилитель поступал на измеритель временных интервалов где, с учётом фазы сигнала, измеряли время задержки между моментом запуска генератора и приходом сигнала на вход измерителя. Для компенсации систематической погрешности измерения t_0 , обусловленной временем прохождения сигнала вне исследуемого образца, проводили аналогичные измерения при отсутствии образца между преобразователями. Толщину образца h измеряли микрометром.

Затухание упругой волны в материале оценивали по крутизне фронта принимаемого сигнала. Крутизна фронта связана со способностью материала пропускать упругие колебания ниже частоты среза [9]. При ударном возбуждении пьезоэлектрического преобразователя излучается широкий спектр упругих колебаний, который зависит от резонансной частоты пьезопластины и свойств материала, на который нагружен пьезопреобразователь [10]. Поскольку у более высокочастотных сигналов крутизна фронта выше, то уменьшение крутизны фронта, по сравнению с таковой для сигнала на резонансной частоте преобразователя, свидетельствует о том, что частота среза материала образца ниже резонансной частоты преобразователя и тем более, чем менее крутой фронт принимаемого сигнала. Поскольку коэффициент затухания возрастает с частотой, то уменьшение частоты среза материала свидетельствует о повышении коэффициента затухания упругих волн в нём. Крутизну фронта принимаемого сигнала определяли по результатам измерений времени его начала и наибольшего значения с использованием той же структурной схемы измерений (см. рис.2).

Для определения методической погрешности в каждом образце в одной зоне было проведено по 10 измерений времени распространения упругой волны. Дисперсионный анализ полученных результатов показал, что методическая погрешность измерений

зависит от податливости материала прессовок и не превышает 1 %. Значение СРУВ в материале одного состава рассчитывали по результатам измерений в трёх образцах, полученных при одинаковых усилиях прессования.

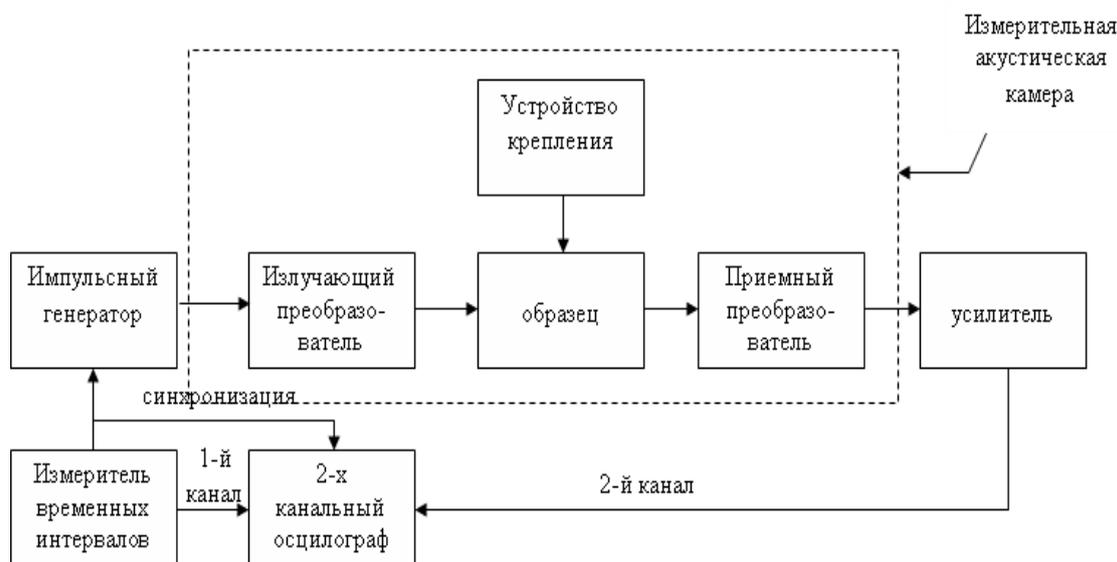


Рис.2.

Модуль упругости материала рассчитывали по формуле:

$$E = \frac{c^2 \cdot \rho_{\text{экс}} \cdot (1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}{(1 - \mu)}$$

где $\rho_{\text{экс}}$ – плотность материала, μ – коэффициент Пуассона материала. Плотность материала рассчитывали по результатам измерения объёма и массы образца [11]. Коэффициент Пуассона рассчитывали по формуле:

$$\mu = \mu_0 \cdot (1 - \theta)$$

где $\mu_0=0,33$ – коэффициент Пуассона Ti; θ – пористость. Значения пористости θ материалов прессовок рассчитывали по их плотности [12]. Эти значения приведены на рис.3. Там же приведены аппроксимации полиномом 2 степени зависимости пористости от усилия прессования.

На рис.4 приведены результаты измерений СРУВ (а, б), длительности фронта принимаемого сигнала (в, г) и модуля упругости (д, е) материалов с различным соотношением Ti и TiH при разных усилиях прессования (б, г, е) и пористостях (а, в, д). Полученные значения измеренных величин аппроксимированы полиномами 2 степени как функции пористости и усилия прессования. Результаты аппроксимации приведены на рис.4.

2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из рис.3 видно, что увеличение усилия прессования во всех исследованных прессовках приводит к уменьшению пористости. При этом для всех усилий прессования гидрид титана имеет наибольшую пористость, титан – наименьшую, а их композиты имеют пористость между этими границами, причём пористость композитов изменяется

практически пропорционально изменению процентного содержания компонентов. Более высокое значение пористости в TiH по сравнению с Ti можно объяснить более высоким значением модуля упругости: у Ti – 110 ГПа, а у TiH – 250-300 ГПа. Принимая во внимание, что пористость является мерой компактности материала, следует сделать заключение, что при прессовании процессы компактирования проходят пропорционально прилагаемому усилию и процентному содержанию компонентов.

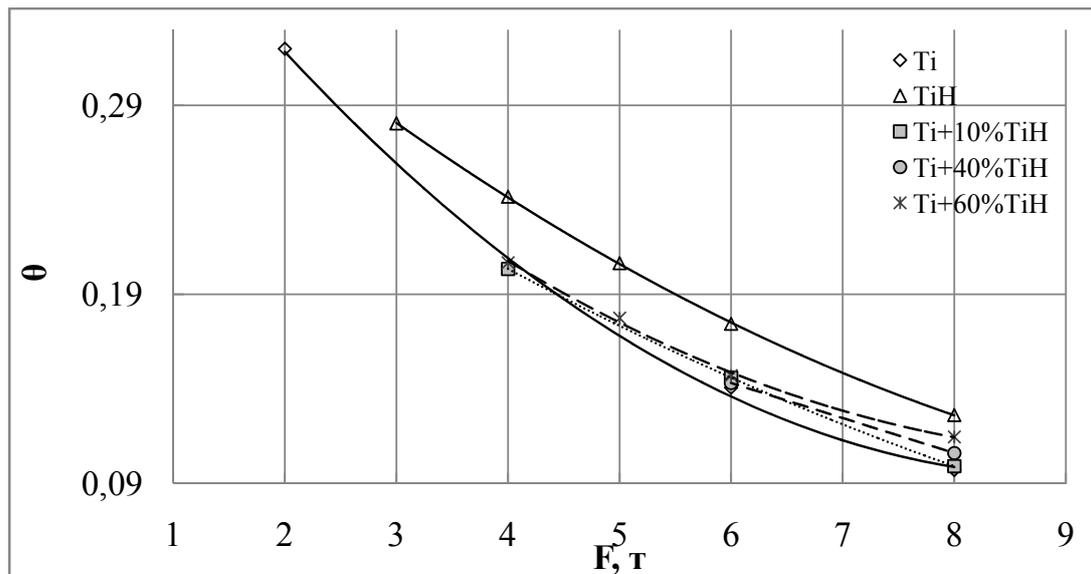


Рис.3

Из рис.4 б видно, что зависимости СРУВ от усилия прессования имеют другой характер по сравнению с зависимостями пористости. Это можно объяснить следующим образом. Во-первых, СРУВ имеет обратно пропорциональную зависимость от усилия прессования, по сравнению с пористостью. Это связано с известной закономерностью [4]: с уменьшением пористости, что наблюдается при увеличении усилия прессования (см. рис.3), СРУВ возрастает. Учитывая обратно пропорциональный закон изменения СРУВ от пористости, сопоставляя рис.3 и 4, можно сделать такие заключения:

- в обоих случаях кривая для TiH лежит над кривой Ti, что можно объяснить более высоким значением модуля упругости у TiH;
- кривые для смесей в обоих случаях лежат одна над другой в порядке увеличения содержания TiH, что, опять же, можно объяснить более высоким значением модуля упругости у TiH;
- для СРУВ кривые для смесей лежат ниже кривой для Ti, что уже нельзя объяснить только процессами компактирования композитов, а необходимо учитывать и процессы контактообразования. Так, в рассматриваемом материале СРУВ, по аналогии с двухфазным материалом [13], можно представить как функцию:

$$C_m = C_k K_\theta K_n,$$

где C_k – СРУВ в композите, являющаяся функцией скоростей фазовых составляющих композита, K_θ и K_n – коэффициенты, учитывающие уменьшение СРУВ, обусловленные пористостью и несовершенством (дефектностью) контактов. Именно наличие несовершенных контактов в композитах позволяет объяснить то, что кривые для смесей

лежат ниже кривых для Ti и TiH, поскольку наличие разнородных порошков ухудшает процесс механического контактообразования.

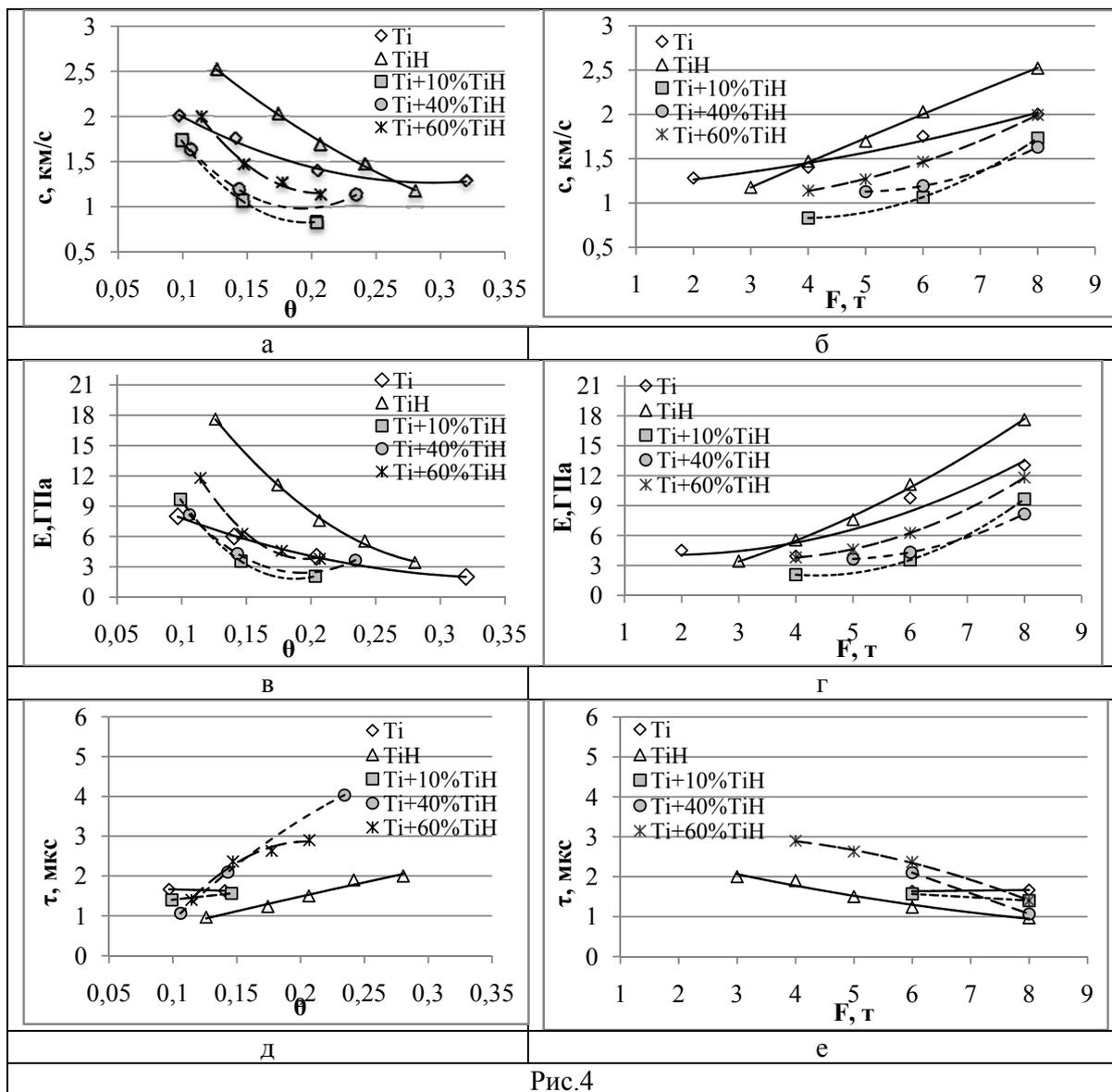


Рис.4

Из рис.4 а видно, учитывая обратную пропорциональность, зависимости СРУВ от пористости имеют ту же тенденцию, что и зависимости от усилия прессования.

Из рис.4 в и г видно, что для модулей упругости сохраняются те же закономерности, что и для скорости распространения упругой волны.

Из рис.4 д и е видно, что для нарастания фронта упругой волны все зависимости традиционно [13] имеют обратно пропорциональный характер по сравнению со СРУВ. Это, как и для СРУВ, можно объяснить тем, что по аналогии с двухфазным материалом [13], коэффициент затухания упругой волны в рассматриваемых трёхфазных композитах является функцией следующих составляющих:

$$\alpha_m = \alpha_k + \alpha_\theta + \alpha_d,$$

где α_k , α_θ , α_n – составляющие коэффициента затухания, обусловленные соответственно физической природой компонентов композита, пористостью и несовершенством (дефектностью) контактов.

Таким образом, все приведенные на рис.4 зависимости отображают влияние состава и усилия прессования на процессы компактирования и консолидации композита.

ВЫВОДЫ

В работе показано, что скорость распространения и затухание упругой волны отображают процессы компактирования и консолидации порошковых прессовок.

Развитие работ в этом направлении может быть связано с построением моделей, которые позволяют разделить процессы компактирования и консолидации для дальнейшего использования скорости распространения и затухания упругой волны как инструментов для экспресс-определения степени консолидации или степени компактирования порошковых прессовок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайдученко А.К. Порошковые металлические материалы // 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.114-124.
2. Степанчук А.Н. Порошковая металлургия // Там же, С.104-114.
3. Сердюк Г.Г., Павлыго Т.М Прессование и формование порошков // Там же, С.124-142.
4. Безымянный Ю.Г. Возможности акустических методов при контроле структуры и физико-механических свойств порошковых материалов // Порошковая металлургия - 2001.- №5-6. - С.23-33.
5. Р.Труэлл, Ч.Эльбаум, Б.Чик: Ультразвуковые методы в физике твёрдого тела, М.: Мир, 1972.- 308 с.
6. Методы акустического контроля металлов / А.П.Алешин, В.Е.Белый, А.Х.Вопилкин и др.-М.: Машиностроение, 1989. – 456 с.
7. Безымянный Ю.Г., Спіфанцева Т.О., Козирацький Є.О. Дослідження впливу структури композита на основі мідного порошку із вольфрамівими 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. Безымянный Ю.Г., Бурлаченко Ю.В. Методические особенности ультразвукового контроля пенометаллов // Тез. докл. Международ. конф. "Новейшие технологии в порошковой металлургии и керамике", Киев, 2003.- С.410-411.
9. Дьелесан Э., Руайе Д. Упругие волны в твёрдых телах. Применение для обработки сигналов. – М.: Наука, 1982. – 424 с.
10. Ультразвуковые пьезопреобразователи для неразрушающего контроля/Под общ. ред. И.Н.Ермолова. – М.: Машиностроение, 1986. – 280 с., ил.
11. Физические величины: Справочник / Под ред. И.С.Григорьева, Е.З.Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
12. Пористые проницаемые материалы: Справ. изд./ Под ред. Белова С.В.- М.: Металлургия, 1987. - 335 с.
13. Безымянный 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.