

**НЕРАЗРУШАЮЩИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ**

К. Абдуллина, Е.П. Седанова

Научный руководитель: доцент, к.т.н., Д.А. Седнев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: kra3@tpu.ru

**NON-DESTRUCTIVE ANALYSIS OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF CERAMIC
MATERIALS BY THE METHOD OF ULTRASONIC TOMOGRAPHY**

K. Abdullina, E.P. Sedanova

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., Cand. Sci. D.A. Sednev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: kra3@tpu.ru

***Abstract.** This research is devoted to study a structure of ceramic SiC-based materials by ultrasonic testing method. The ceramic materials were fabricated from preceramic paper using spark plasma sintering (SPS) method. Also as part of the research the Young's modulus of sintered materials was determined and the effect of sintering pressure changing to this parameter value was investigated.*

Введение. Благодаря своим физико-химическими свойствами свойствам, как устойчивость к химическому разложению, низкий коэффициент теплового расширения, прочность и износостойкость при высоких температурах [1], керамические материалы на основе карбида кремния востребованы во многих инженерных конструкциях, таких как высокотемпературные двигатели, ядерные термоядерные реакторы и так далее. Однако, как и другие конструкционные материалы, керамика на основе карбида кремния должна подвергаться экспертизе неразрушающего контроля (НК) для выявления в ней скрытых дефектов.

Одним из наиболее эффективных методов исследования внутренней структуры материалов является ультразвуковой контроль (УЗК) [2]. Эффективность применения этого метода обусловлена его высокой точностью и отсутствием дозовой нагрузки на персонал, что делает его безопасным.

Целью данной работы являлось проведение НК керамических материалов на основе карбида кремния, полученных при спекании под давлением прекерамических бумаг, ультразвуковым эхо-методом.

Материалы и методы. Образцы керамики на основе карбида кремния, синтезированные методом искрового плазменного спекания прекерамических бумаг на базе НИ ТПУ, были подвергнуты ультразвуковому исследованию контактными и иммерсионными методами.

Контактный метод применялся для измерения скорости звука при расчете модуля Юнга исследуемых материалов. Для эхо-импульсного определения скорости звука поперечных и продольных волн в материале, требуется два преобразователя звуковых волн и ввод данных о толщине образца, что позволит напрямую измерить скорость распространения звука в материале и рассчитать модуль Юнга по формуле [3]:

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

где v_{pp} – продольная скорость, ρ – плотность материала, μ – коэффициент Пуассона.

Исследование материалов иммерсионным методом включало в себя сканирование ультразвуковой волной образцов, находящихся в ванне с иммерсионной жидкостью (водой), и обработку полученных данных в программном пакете IDEalSystem для получения визуализации результатов контроля, с использованием стационарной системы IDEalSystem3D.

Результаты. Результаты ультразвукового контроля образцов иммерсионным методом приведены на рисунках 1-2 соответственно. Как видно из изображений на В-развертках (поперечное сечение) образцы представляют собой монолитный материал, который не содержит в своей структуре крупные дефекты типа деляминации (расслоения) и трещины.

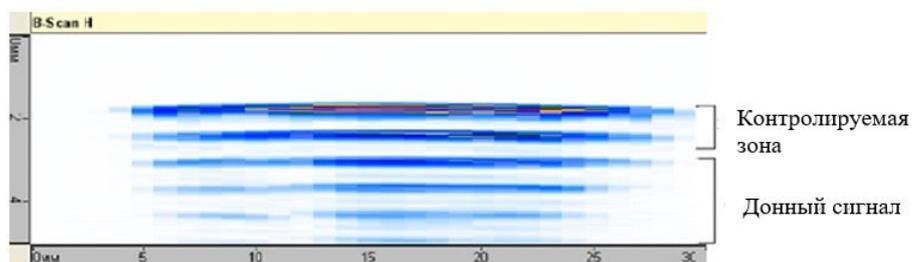


Рис. 1. B-scan образца прекерамической бумаги с наполнителем SiC, спеченного при температуре 2100°C и давлении 20 МПа

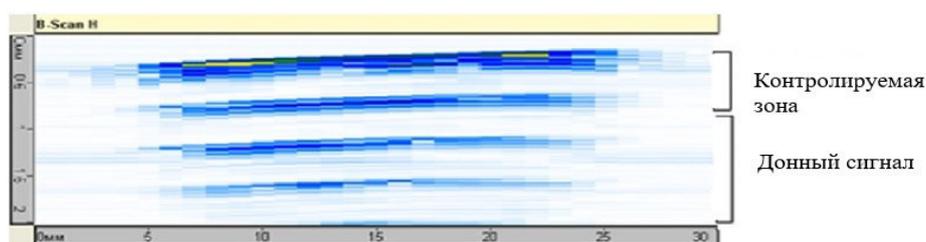


Рис. 2. B-scan образца прекерамической бумаги с наполнителем SiC, спеченного при температуре 2100°C и давлении 100 МПа

При проведении контактного ультразвукового контроля керамических материалов было получено значение скорости поперечной и продольной волны. В результате гидростатического взвешивания образцов, была определена их плотность. Данные гидростатического взвешивания исследуемых образцов и результаты расчета их плотности приведены в таблице 1. Шифры образцов представлены в виде режимов спекания исходных материалов.

Таблица 1

Результаты гидростатического взвешивания образцов материалов, синтезированных при спекании методом ИПС прекерамической бумаги с наполнителем SiC

Шифр образца	Открытая пористость, %	Плотность образца, г/см ³
20 МПа, 2100 °С	62,8	2,087
100 МПа, 2100 °С	13,4	2,749

Таблица 2

Результаты обработки TOF для расчета модуля Юнга образцов резонансным методом

Шифр образца	Толщина исследуемого образца, мм	Скорость продольной волны в образце, м/с	Скорость поперечной волны в образце, м/с	Плотность образца г/см ³	Модуль Юнга, ГПа
20 МПа, 2100 °С	2,81	7823	9531	2,059	126
100 МПа, 2100 °С	2,85	10306	4889	2,749	292

Заключение. В экспериментальной части работы образцы, синтезированные путем искрового плазменного спекания прекерамических бумаг с неорганическим порошковым наполнителем SiC при температуре 2100 °С и под давлением 20 МПа и 100 МПа, соответственно, были исследованы описанными методами ультразвукового контроля. При этом результаты УЗК иммерсионным методом позволили визуализировать внутреннюю структуру образцов в виде изображений. Оборудование для проведения УЗК контактным методом позволило быстро и точно определить скорость распространения звуковой волны в исследуемых материалах. Оба метода использовались для исследования, но с различными целями.

УЗК не показывает наличия в образцах дефектов типа пора малых диаметров, что противоречит результатам исследования гидростатики. Это связано с тем, что к величине таких дефектов оборудование ультразвукового контроля может быть нечувствительным, ввиду отсутствия процедуры предварительной калибровки датчика.

Из полученных значений модуля Юнга видно, что способность синтезированного материала сопротивляться упругой деформации повышается с ростом величины давления, приложенного к прекерамической бумаге при спекании от 126 ГПа до 292 ГПа для давлений 20 МПа и 100 МПа, соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Троицкий В.А., Карманов М.Н., Троицкая Н.В. Неразрушающий контроль качества композиционных материалов //Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2014. – №. 3. – С. 29-33.
2. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композиционные материалы. Механика и технология. – М.: Техносфера, 2004.– 207 с.
3. Измерение модуля упругости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.olympus-ims.com/ru/applications/elastic-modulus-measurement/>. (дата обращения: 11.02.20)