

## КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ ГРАДИЕНТНОГО СЛОЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ УГЛЕРОД-КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2021 г. Хохлова Елена Дмитриевна\*, А. В. Федоров<sup>1,2\*\*</sup>

<sup>1,2</sup> – *Университет ИТМО, 197101 Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

*\* - 79818062369@mail.ru; \*\* - afedor62@yandex.ru*

Углерод-керамические композиционные материалы (УККМ) на сегодняшний день имеют приоритетное значение в авиа- и ракетостроительной отрасли, судостроении, энергетике, а также в сферах, основным фокусом которых являются изделия из теплонапряженных материалов. УККМ обладают рядом уникальных свойств, в частности, высокой прочностью при повышенных температурах, низким коэффициентом линейного расширения, высоким коэффициентом теплопроводности, а также низкой плотностью, что позволяет использовать их в ответственных узлах изделиях специальной техники, работающей в агрессивных средах. Для обеспечения необходимой стойкости при эксплуатации изделий из УККМ в сложных условиях обтекания химическим, высокотемпературным и высокоскоростным потоком продуктов сгорания топлива, на изделие из УККМ дополнительно наносят специальное защитное покрытие. Особенность нанесения данного покрытия обуславливает диффузию его молекул в поверхностные слои УККМ, в результате чего слой покрытия приобретает градиентный характер. От толщины градиентного слоя защитного покрытия зависят свойства стойкости изделия к внешним воздействиям теплового и газодинамического потока. В связи с этим, актуальным является измерение толщины данного слоя. Целью работы является выбор и обоснование метода контроля толщины градиентного слоя покрытия, нанесенного на внешнюю поверхность изделия из УККМ.

Исследуемым объектом является изделие из УККМ с защитным покрытием из карбидов редкоземельных металлов. С учетом конструктивных особенностей контролируемого изделия, традиционно используемые методы контроля, подходящие для композиционных материалов, такие как: ультразвуковой, радиационный, термографический, оптический, имеют ограниченную применимость к УККМ. В связи с этим, представляет интерес использование методов вихретокового вида неразрушающего контроля.

За счет того, что огромное количество волокон внутри изделия из УККМ имеют между собой электрический контакт, то можно рассматривать углеродное волокно, как материал с некоторым интегральным значением электропроводности, изменяющейся в зависимости от толщины покрытия. Значение толщины покрытия по формуле связано со значением вносимого (разностного) напряжения  $\dot{U}_{\text{вн}}$ , возникающего вследствие влияния

изделия с покрытием на обмотку преобразователя. При изменении значения  $\dot{U}_{\text{вн}}$ , меняется и его фаза  $\Delta\varphi$ , что обуславливает использование вихретокового фазового метода контроля. Степень взаимосвязи вихретокового преобразователя и объекта контроля отображает обобщенный параметр  $\beta$ , зависящий от значения электропроводности материала контролируемого изделия. В свою очередь, зависимость фазы  $\dot{U}_{\text{вн}}$  от обобщенного параметра  $\beta$  близка к линейной. Как видно из рис. 1, изменение значения  $\beta$  на единицу, ведет к изменению фазы примерно на  $17,5^\circ$ , что обуславливает достаточный уровень относительной чувствительности к контролируемому параметру, доказывая возможность использования вихретокового метода для контроля градиентного слоя покрытия на изделии из УККМ.

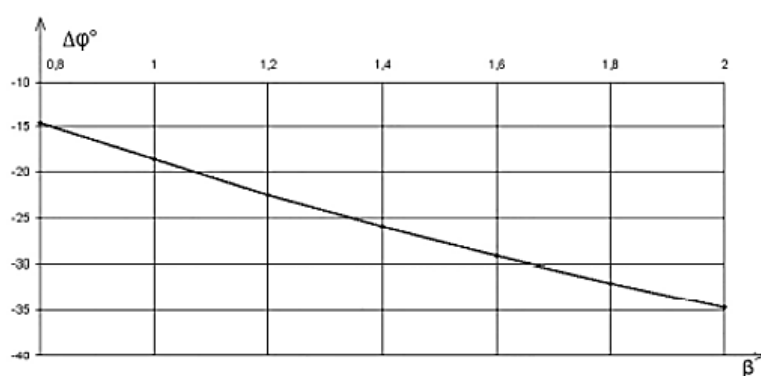


Рисунок 1. Зависимость фазы вносимого напряжения от обобщенного параметра  $\beta$

Таким образом, анализ существующих методов контроля показал, что наиболее перспективным является вихретоковый метод. Для совершенствования его применимости в указанной области необходимо проведение дальнейших работ, в частности, получение регрессионной зависимости толщины градиентного слоя от значения электропроводности для оценки чувствительности метода к контролируемому параметру.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сясько В.А. Теория и методы создания электромагнитных приборов контроля толщины покрытий и стенок изделий. СПб.: «Константа»,— 2015. 372 с.
2. Федоров А.В. Технологии неразрушающего контроля физико-механических характеристик компонентов углерод-углеродных композиционных материалов: сборник трудов 1-й дистанционной научно-технической конференции НККМ–2014. СПб.— 2015. 372 с.
3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 2: В 2 кн. — М.: Машиностроение. 2003. — 688 с.
4. Фадина Е. А. Методические указания по выполнению РГР и курсового проектирования по дисциплине «Электромагнитный контроль» для студентов направлений 200100.62 и 12.03.01 «Приборостроение». — Омск, 2015. —32 с.